

Diplomarbeit

Untersuchungen zu betrieblichen Emissionen

Im Bereich des aktuellen Abbaus und der geplanten
Abbauerweiterungsbereiche des Steinbruchs der Firma Jura Cement in
Wildegg

Eva Brodtrager, BSc

Datum(19/01/2015)



Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft
Department Mineral Resources and Petroleum Engineering
Montanuniversität Leoben

A-8700 LEOBEN, Franz Josef Straße 18
Tel.Nr.: +43/(0)3842-402-2001
Fax: +43/(0)3842-402-2002
bergbau@unileoben.ac.at

Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung in dieser Arbeit, wie z.B. TeilnehmerInnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Vorwort, Widmung, Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei allen Vorgesetzten und Kollegen von Jura Cement für die gute Zusammenarbeit und ihre Unterstützung bei der Erstellung dieser Diplomarbeit bedanken. Besonders bedanke ich mich bei Herrn Stefan Bryner, der mir eine große Hilfe war, und mir in schwierigen Situationen nicht nur mit fachlicher Kenntnis, sondern auch mit Aufmunterung zur Seite stand.

Ich bedanke mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Moser für die umfangreiche Betreuung. Ob vor Ort in Wildegg oder in Telefonaten hat mir Prof. Moser durch Unterstützung und Rat stets den Weg gewiesen, mir jedoch zugleich viel Spielraum für eigene Ideen und Interpretationen gelassen.

Ein besonderer Dank gilt meinem Freund Christopher, der trotz geografischer Trennung immer für mich da, und Motivation und Antrieb war.

Ich möchte mich auch ganz herzlich bei all meinen Freunden bedanken, die mir durch Besuche, Telefonate oder Nachrichten immer wieder ein guter Ausgleich waren und Kraft gaben.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, denen ich diese Diplomarbeit widme. Sie haben mir nicht nur das Studium finanziell ermöglicht, sondern mich auch in allen Lebenssituationen unterstützt und an mich geglaubt.

Zusammenfassung

Da sich der Steinbruch der Firma Jura Cement Fabriken in Wildegg in geringer Entfernung zu den umliegenden Wohngebieten befindet, ist beim Abbau mit Bohren und Sprengen auf geringe Sprengemissionen zu achten. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen die Untersuchung und Analyse, Prognose und Optimierung von Sprengerschütterungen, da diese einen besonders kritischen Faktor darstellen. Das Ziel von Erschütterungsanalysen ist das Erlangen von Kenntnissen über die Zusammenhänge und Einflussstärke verschiedener Parameter auf die Sprengerschütterungen. Dieses Wissen verbessert die Prognostizierbarkeit von Erschütterungen und ermöglicht Optimierungspotential zu erkennen und gezielt zu nutzen. In dieser Arbeit wird auf Basis von aktuellen Sprengungen und deren Erschütterungswerten eine Prognoseformel erstellt. Mit Hilfe dieser Prognoseformel wurden Bereiche in den zukünftigen Erweiterungsgebieten eruiert, in denen der Erschütterungsgrenzwert nicht eingehalten werden kann. Um den Abbau in diesen Bereichen sicherzustellen, muss eine Optimierung des Bohren und Sprengens erfolgen, oder eine alternative, mechanische Abbaumethode eingesetzt werden. In dieser Arbeit werden zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten für die Reduktion von Sprengerschütterungen diskutiert und auf ihre Einsatzmöglichkeit geprüft. Die untersuchten mechanischen Abbaumethoden, welche auf dem reißenden Prinzip basieren, erfordern eine Umstellung der operativen Abbauplanung. Dem Einsatz von alternativen Abbaumethoden in jenen Bereichen, in denen nicht durch Bohren und Sprengen abgebaut werden kann, wird trotzdem ein großes Potential zugeschrieben.

Zusätzlich werden in dieser Arbeit die auftretenden Schallemissionen durch Sprengen untersucht. Schallwellen mit einer Frequenz kleiner 16Hz werden als störend empfunden und häufig für Bodenerschütterungen gehalten.

Abstract

Since the quarry of Jura Cement Fabriken in Wildegg is located in a short distance to the surrounding residential areas, low drilling and blasting emissions have to be ensured. The work focuses on the study and analysis, forecasting and optimization of blasting vibrations, because they represent a particularly critical factor. The objective of vibration analysis is the increase of knowledge about the relationship and impact strength of various parameters on the blasting vibrations. This knowledge improves the predictability of ground vibrations and allows recognizing and using of the optimization potential. In this paper, a prediction formula is created on the basis of current blasting vibrations. Using this formula forecast ranges in the future expansion areas were identified in which the critical value cannot be met. In order to ensure the extraction in these areas drilling and blasting must be optimized or an alternative mechanical extraction method may be used. In this work, numerous optimization possibilities for the reduction of blasting vibration are discussed and assessed for their possible use. The considered mechanical methods, which are based on ripping, require a change of the extraction planning. Nevertheless have both mechanical methods advantages and can be applied in the critical areas.

In addition the sound emissions that occur by blasting are analysed. Sound waves whose frequency is below 16Hz are felt bothersome and often confused with ground vibration.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Vorwort, Widmung, Danksagung.....	III
Zusammenfassung.....	IV
Abstract.....	V
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Einleitung.....	1
1 Problemstellung	3
2 Zielsetzung.....	3
3 Geologische Verhältnisse	5
4 Aktueller Abbau.....	8
4.1 Aufzeichnung des Abbaugeschehens	12
5 Aktuelle Emissionen.....	15
5.1 Sprengerschütterungen.....	15
5.2 Staub.....	16
5.3 Lärm / Air Blast.....	17
5.4 Steinflug	21
6 Sprengerschütterungen	21
6.1 Messstellen und Messgeräte.....	23
7 Analyse der Sprengerschütterungen.....	26
7.1 Häufigkeitsanalyse	27
7.2 Schwinggeschwindigkeit – Distanz- Analyse.....	29
7.3 Schwinggeschwindigkeit – Skalierte Distanz- Analyse.....	36
7.4 Vergleich und Beurteilung der Gruppen aus den Analysen auf Basis der Distanz und der Skalierten Distanz	42
7.5 Analyse der Ausbreitungswege	50
7.5.1 Unterschiedliches Verhalten der Messstellen.....	50
7.5.2 Erschütterungsarme und erschütterungsreiche Sprengungen	55
7.5.3 Analyse unterschiedlicher Abbaustellen	56
7.5.4 Detailanalyse der einzelnen Abbaustellen.....	64
7.6 Erkenntnisse aus der Analyse der Sprengerschütterungen	67
7.7 ÖNORM S9020	70
8 Geplante Abbauerweiterung	72

8.1	Weiterführung des derzeitigen Sprengbetriebs	73
8.1.1	Erschütterungsprognose	73
8.1.2	Schallprognose.....	87
8.2	Optimierungspotential für den aktuellen Abbau.....	88
8.2.1	Theoretische Grundlagen von Sprengemissionen und deren Beeinflussung	89
8.2.2	Optimierungspotential des aktuellen Abbaugeschehens	96
8.3	Alternativen zum derzeitigen Abbauverfahren.....	104
8.3.1	Reißen und Abschieben	111
8.3.2	Rip&Load.....	113
8.3.3	Xcentric Ripper	120
8.3.4	Auflockerungssprengungen.....	126
8.4	Einsatz der Alternativen für derzeitigen Abbau	130
9	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	133
10	Literaturverzeichnis	138
11	Abbildungsverzeichnis	140
12	Diagrammverzeichnis.....	142
13	Formelverzeichnis.....	143
14	Tabellenverzeichnis	144
15	Abkürzungsverzeichnis	146
	Anhang Inhaltsverzeichnis.....	I
	Anhang 1: Messstellenbesichtigung	II
	Anhang 2: Nicht veröffentlichte Literatur	XI

Einleitung

Das Unternehmen Jura Cement Fabriken, kurz JCF, mit den beiden Standorten in Wildegg und Cornaux in der Schweiz ist Teil der Jura Materials Gruppe, welche seit 2000 dem internationalen Konzern CRH angehört.

Das Zementwerk in Wildegg produziert rund 1Mio.t Zement pro Jahr und wird durch eigene, zirka 600m entfernte, Abbaugelände (siehe Abbildung 1) mit den Rohstoffen Mergel und Kalkstein versorgt. Ursprünglich wurden Kalkstein und Mergel in zwei unterschiedlichen Steinbrüchen, dem Mergelsteinbruch Jakobsberg (auch J-Berg) und dem Kalksteinbruch Oberegg gewonnen. 2013 wurde in der Oberegg kein Material abgebaut, da der hier vorkommende, hochwertige Kalk schon beinahe erschöpft ist. Der Großteil der derzeitigen Kalkgewinnung findet in der Unteregg statt, auf dessen Sohle der Kalkbrecher Unteregg steht. Vom Brecher wird der gebrochene Kalkstein, zuerst durch ein Tunnelsystem, danach auf einer Brücke über den Fluss Aare mit einer Förderbandanlage in die Rohmaterialhalle des Zementwerkes gefördert. Im Abbaugelände Steinbitz werden verschiedene, teils dünne Schichten gewonnen (Vgl. Lüscher 2014). Der Mergel wird in der Brecheranlage Jakobsberg gebrochen, und auf einem separaten Förderband in das Rohmateriallage des Zementwerkes Wildegg gebracht.

Die Abbaukubatur beträgt rund 950.000t pro Jahr, wobei das Kalkstein-Mergel-Verhältnis zwischen 70:30 und 50:50 liegt. Beide Brechanlagen weisen eine Leistung von 700t/h und die beiden Förderbänder in das Zementwerk jeweils 800t/h auf. Die Anforderungen der Rohmaterialhalle sind Korngrößen von 0/80mm, wobei das Material nicht zu fein vorliegen darf.

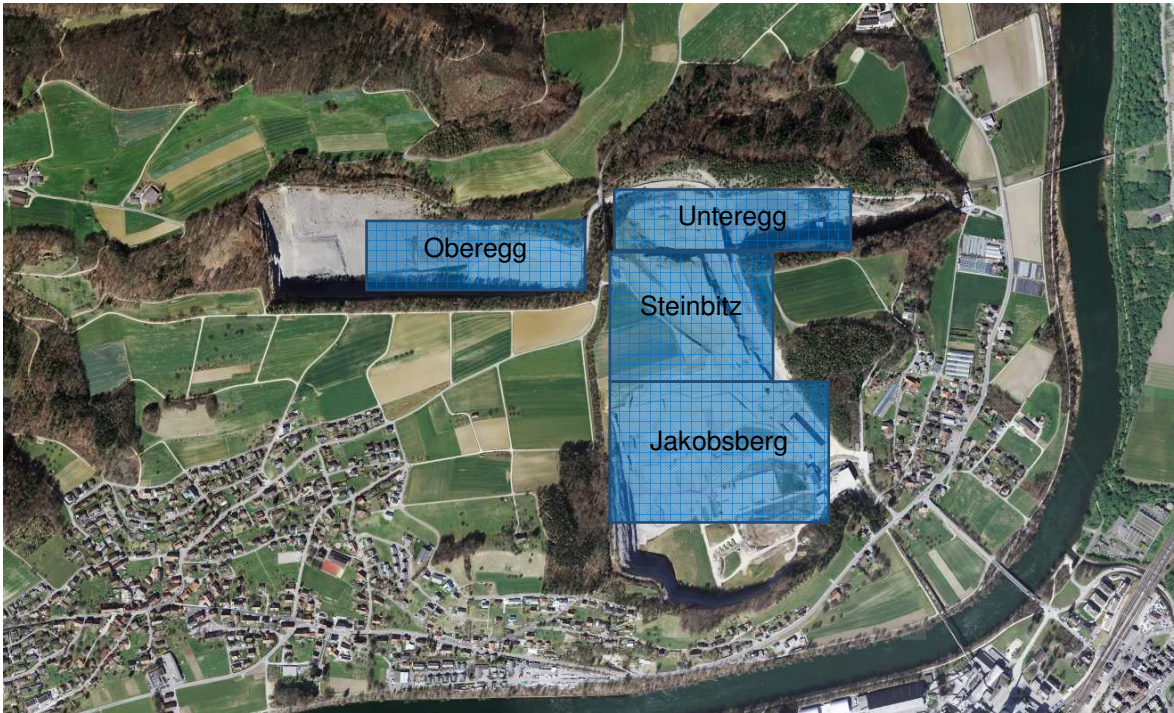


Abbildung 1: Steinbrüche der Jura Cement Fabriken in Wildegg

Im Zuge dieser Diplomarbeit wird das Schweizerische Vermessungssystem und der Bezugsrahmen LV03 verwendet. Die Landestriangulation LV03 ist die offizielle Grundlage für die meisten Vermessungen in der Schweiz. Der Fundamentalpunkt dieses Fixpunktnetzes ist die alte Sternwarte in Bern (Landeskoordinaten 600 000 m / 200 000 m). Der Ausgangspunkt aller Höhenmessungen ist der Repère Pierre du Niton im Hafen von Genf und wird für alle Vermessungen und Kartenwerke in der Schweiz verwendet. Die Höhe wird als xxxm ü.M. angegeben.

(Bundesamt für Landestopografie swisstopo 2014)

1 Problemstellung

Die außergewöhnliche Nähe des Steinbruchs an bewohntes Gebiet hat schon immer einen behutsamen Umgang mit der Bevölkerung, und besondere Achtsamkeit bezüglich der abgegebenen Emissionen bedurft. Innerhalb der nächsten Jahre soll eine Erweiterung der Abbaugebiete die Rohstoffversorgung sichern. Da durch diese Erweiterung die Distanz der umliegenden Bevölkerung zum Steinbruch reduziert wird, muss auf die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte ein besonderes Augenmerk gelegt werden.

2 Zielsetzung

Die im Fokus dieser Arbeit stehenden Emissionen sind Sprengerschütterungen; aber auch Steinflug und Lärm sind zu betrachten. Hierfür soll aus den vorhandenen Messwerten über Sprengerschütterungen eine Prognoseformel erstellt werden, welche unter der Annahme gleicher Randbedingungen, wie Wellenausbreitungsverhalten, Sprengverfahren und Geometrie, für die Vorhersage von Werten in den neuen Abbaubereichen eingesetzt werden kann.

Die Grundlage für die Prognose von Sprengerschütterungen ist das Verständnis der vorherrschenden Situation, weshalb es die ausschlaggebenden Parameter für Erschütterungen besser zu verstehen gilt. Die Daten werden nach geologischen Gegebenheiten, Sprengparametern, Standorte der Messstellen, etc. klassifiziert um einen möglichen Zusammenhang zu erkennen. In Bereichen mit geringer Distanz zu den Anrainern werden bereits Anpassungen der Sprengvorganges durchgeführt, welche in die Dokumentation aufgenommen werden sollen. Der Einfluss dieser Anpassungen auf die Erschütterungen ist genau zu betrachten und die Anwendung dieser in den Erweiterungsgebieten darzulegen. Es gilt Prognoseformeln für vergleichbare Ausgangssituationen zu erstellen, wobei diese

vergleichbaren Bedingungen durch sorgfältige Analyse der vorhandenen Daten zuerst ermittelt werden müssen.

Mit Hilfe dieser Prognoseformel sollen in den Erweiterungsgebieten Abbaustellen mit gleichbleibender oder geringerer und Bereiche mit stärkerer Erschütterungsbelastung identifiziert werden. Für jene Bereiche der Erweiterung, in denen mit einer erhöhten Emissionsbelastung zu rechnen ist, ist eine Studie über mögliche Alternativen zum Sprengen durchzuführen.

„What else?“ ist ein Projekt der JCF welches sich mit möglichen Alternativen zum Sprengbetrieb beschäftigt. Im Zuge einer Grobanalyse wurden bereits diverse Verfahren für einen mechanischen Abbau auf ihre allgemeine Einsatzmöglichkeit im Steinbruch untersucht. In der derzeitigen Phase der Detailanalyse werden folgende Alternativen sorgfältig betrachtet:

- Felsflächenfräser (Firma Vermeer)
- Surface Miner (Firma Wirtgen)
- Xcentric Ripper (Firma Kuhn)
- Rip&Load (Firma Caterpillar)

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, alternative Abbaumethoden für kritische Bereiche, in denen die Einhaltung des Erschütterungsgrenzwertes mit dem aktuellen Sprengverfahren nicht garantiert werden kann, zu untersuchen. Diese mechanischen Abbaualternativen sollen den Sprengbetrieb jedoch nur in den kritischen Bereichen, nicht aber im gesamten Abbaugelände ersetzen. Dadurch ist das Hauptaugenmerk auf die Kombinierbarkeit beider Verfahren zu legen. Der gleichzeitige Einsatz von Wandsprengungen und mechanischem Flächenabtrag mittels Felsflächenfräser und Surface Miner wird jedoch als kritisch eingestuft. Beide Methoden benötigen für einen optimalen Einsatz weitläufig ebene Flächen. Der Beitrag dieser Arbeit zum Projekt „What else?“ wird wie folgt definiert: In Kombination mit dem derzeitigen Sprengverfahren sollen die operative Umsetzung, Vorteile und Nachteile, Abbaugeometrie, Abraumbeseitigung, Zerkleinerungsergebnis, Leistung, Kosten pro Tonne und Emissionen folgender Verfahren untersucht werden:

- Rip&Load

- Xcentric Ripper
- Auflockerungssprengung (inkl. Dimensionierung) in Kombination mit
 - Rip&Load
 - Reißen und Abschieben nach derzeitigem Vorbild

Abschließend soll eine Beurteilung über die Einsatzfähigkeit im aktuellen Abbaugeschehen abgegeben werden.

3 Geologische Verhältnisse

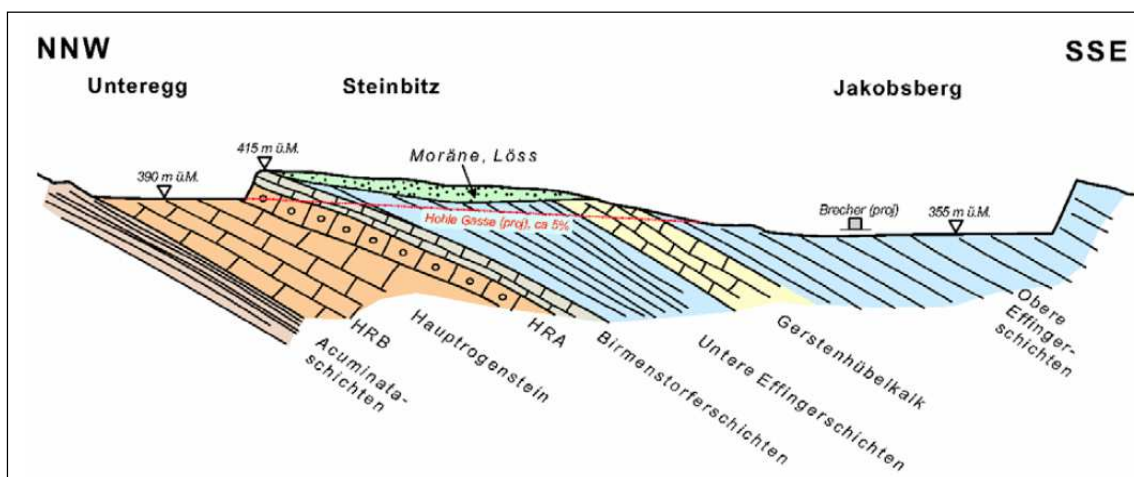


Abbildung 2: Geologisches Profil (Pfeifer 2013, S.3)

Abbildung 2 zeigt ein geologisches Profil durch das aktuelle Abbaugebiet, welches im Südschenkel einer Antiklinale liegt deren Gesteinsschichten relativ gleichmäßig mit zirka 17-30° gegen SSE einfallen. Die vorherrschenden Schichten weisen folgende Charakteristika auf:

- Obere Effinger Schichten:
Die Gesamtmächtigkeit der Schichten beträgt 140-145m und kann in zwei Bereiche gegliedert werden. Zum einen einer oberen, kalkigen Schicht von ca. 40-45m Mächtigkeit und der darunterliegenden Wechsellagerung von Mergel und Kalk. Die Druckfestigkeiten liegen zwischen 29MPa und 59MPa für leicht verwitterten Mergel.

- Gerstenhübelkalk:
Diese, zwischen 13,4m und 28m mächtige Kalksteinschicht weist eine Druckfestigkeit zwischen 97MPa und 149MPa auf. Drei verschiedene Fraktursysteme sind sichtbar und die Dicke liegt bei 0,6-1m.
- Untere Effinger Schichten:
Mergel und Kalkmergel mit lokalem Kalksteinvorkommen in einer Mächtigkeit von 60-70m. Die untersten Schichten zeichnen sich durch knollige und schlierige Lagerung aus und die Druckfestigkeit für verwitterten Mergel liegt bei 94-118MPa. Die Dicke der Bankung liegt zwischen 0,4m und 0,6m und drei Fraktursysteme liegen vor.
- Birnenstorfer Schichten:
Diese Schichten weisen Mächtigkeiten zwischen 4m und 6,5m bei einer Bankungsdicke von zirka 0,6m auf und enthalten kaum Frakturen.
- Hauptrogenstein:
Die Mächtigkeit schwankt zwischen 60m und 75m und unmittelbar östlich der Unteregg wird diese Schicht zunehmend dünner. Die Druckfestigkeit liegt zwischen 54MPa und 82MPa
- Die geologischen Schichten sind mit quartärem Material, Moräne, Löss, Silt usw. mit einer Mächtigkeit bis 18m überdeckt.

(Vgl. Lüscher 2014)

Die hier angegebenen Druckfestigkeiten werden als Anhaltspunkt, nicht aber als repräsentative Proben gesehen. Da die Werte aus einer einzigen Probe des vorgestörten und zum Teil verwitterten Gebirges an der Bruchwand stammen, ist die In-Situ Druckfestigkeit etwas höher anzunehmen.

Die, in Abbildung 3 dargestellte geologische Karte zeigt die Kalkstein- und Mergelschichten im derzeitigen Steinbruch und in Teilen des Erweiterungsgebietes. Die Schichten fallen unter einem Winkel von 17-30° gegen SSE (Pfeifer 2013, S.3), bei einem Streichen von ca. 60-80°, ein. Da es derzeit keine aktuellen und vollständigen geologischen Aufzeichnungen gibt, wurden die vorhandenen Informationen durch Aussagen der Mineure und tatsächliches Auftreten von Schichten ergänzt.

Vor einigen Jahrzehnten wurde ein Teil des Gerstenhübelkalks, welcher außerhalb des heutigen Abbaugebiets liegt abgebaut, wiederaufgefüllt und rekultiviert. Dieser, vermutlich mit Moräne aufgefüllter Bereich ist in der nachstehenden Abbildung gelb dargestellt.

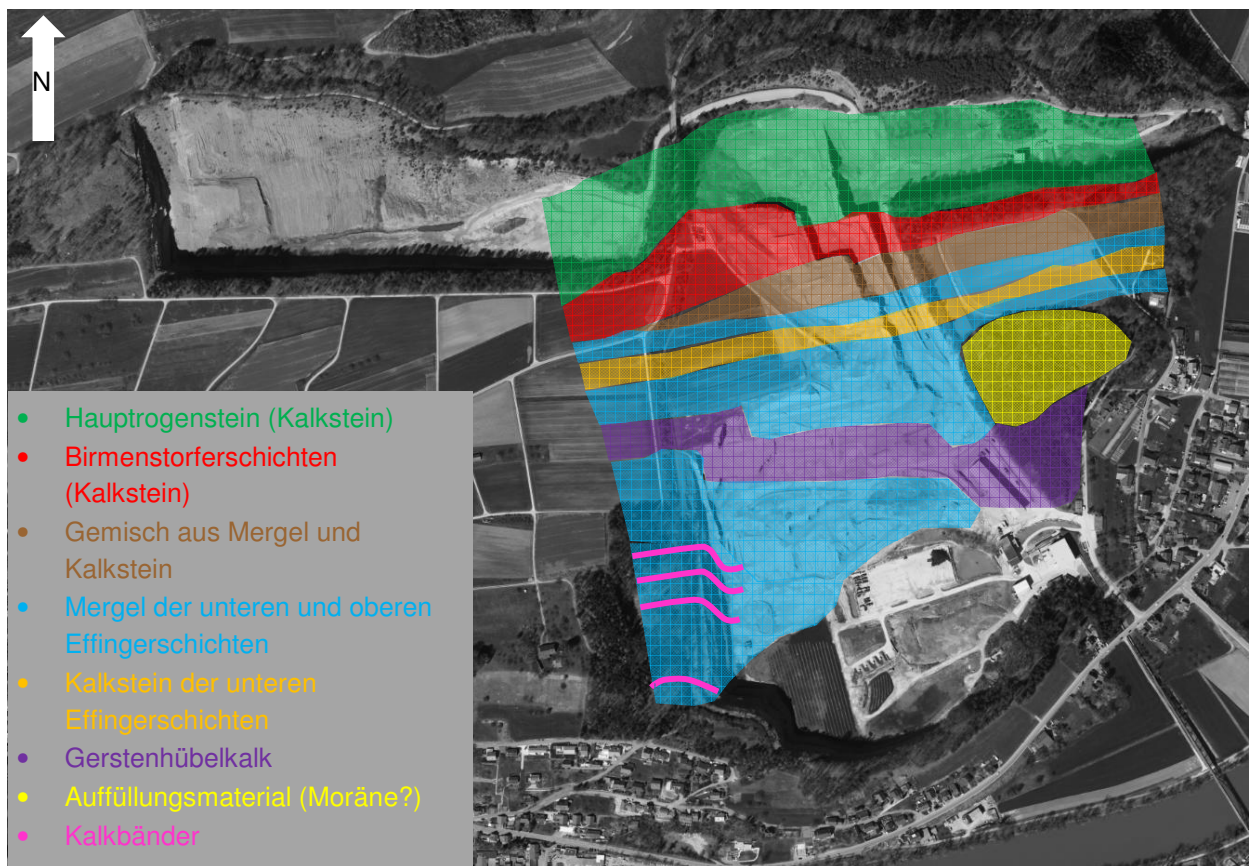


Abbildung 3: aktuelle Geologie im Steinbruch – August 2014 360-420m ü. M. (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang1-3 und Jordan 2013, S.34)

Da für die Vorhersage der Geologie in die Tiefe keine augenscheinlichen Tatsachen verwendet werden können, liegt die Prognose der Geologie in die Tiefe wesentlich ungenauer vor. Abbildung 4 zeigt die Prognose der abbauwürdigen

Schichten auf einer Seehöhe von 320m ü. M., welche im Norden durch eine stark schwefelhaltige Schicht, Acuminataschichten Abbildung 2 begrenzt werden.

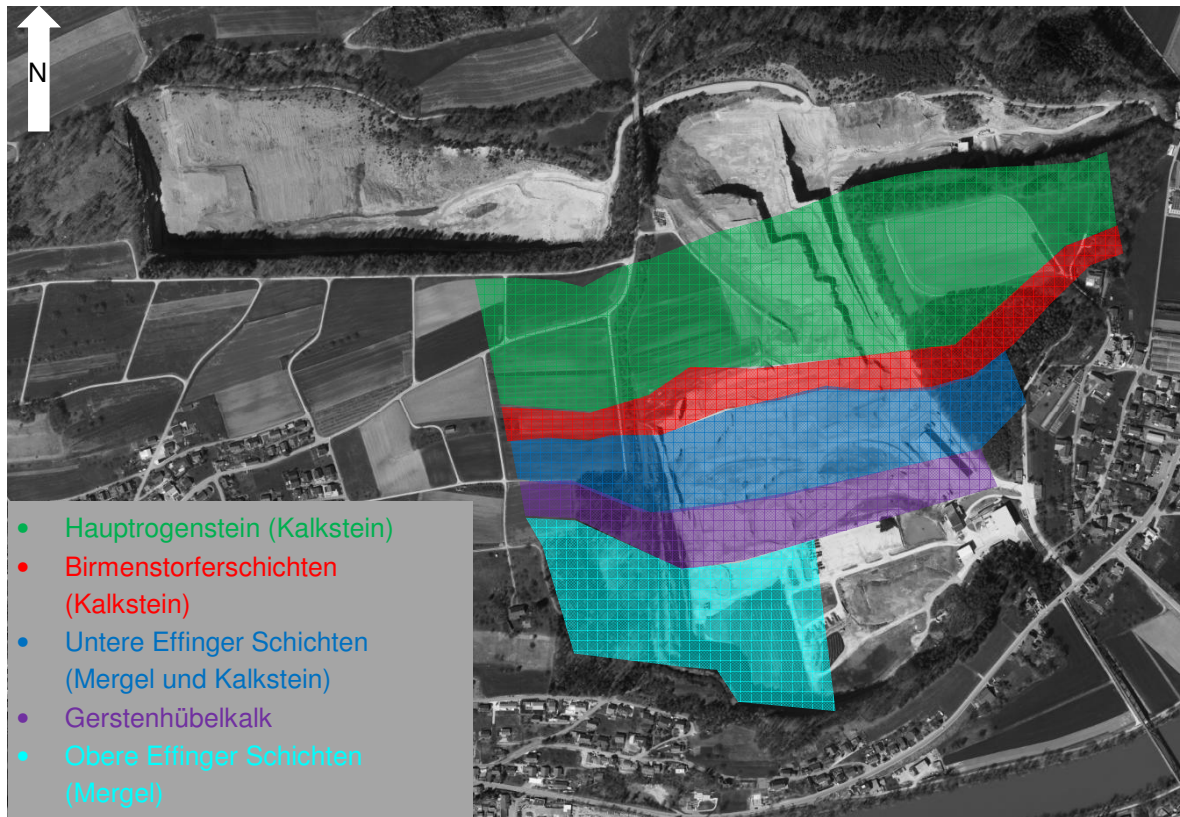


Abbildung 4: Geologie auf 320m ü. M. (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang1-3)

4 Aktueller Abbau

Der, in dieser Arbeit als aktuell angesehener Abbau bezieht sich auf den Zeitraum Jänner 2014 bis zum Zeitpunkt des Verfassens der Diplomarbeit.

Derzeit befindet sich der Steinbruch in der Abbaustufe 3 der Abbaubewilligung 3, welche für den Zeitraum 2014 bis 2018 gilt. (Pfeifer 2013, S.3) Die Höhe des aktuellen Abbaubereiches reicht von etwa 360m ü.M. im Jakobsberg und im östlichen Bereich der Unteregg, bis zu 410m ü.M. im Bereich Steinbitz (siehe Abbildung 1). Die Abbaubewilligung 3 sieht einen Abbau in die Tiefe bis zu einer Endsohle bei 352-356m ü. M. vor (Pfeifer 2013, S.6). Anschließend an die aktuelle

Abbaubewilligung 3 ist eine Abbauerweiterung in Richtung Westen und Osten und in die Tiefe geplant, welche in Kapitel 0 näher erörtert wird.

Aufgrund der komplexen chemischen Voraussetzungen an das Rohmaterial bei der Zementherstellung ist es notwendig an mehreren, meist drei bis vier, verschiedenen Abbauorten gleichzeitig abzubauen. Es ist darauf zu achten, die unterschiedlichen Materialien in teils starker Wechsellagerung separat abzubauen und dabei nicht zu vermischen. Da aus dem Verband gelöster Mergel schnell verwittert und nass nur schlecht transportfähig ist, wird der Abbau kurzfristig und flexible gehalten.

Kalk wird immer, Mergel wird größtenteils durch Bohren und Sprengen gelöst. Ein geringer Anteil des Mergels, jüngere bzw. verwitterte Schichten werden rein durch mechanisches Lösen abgebaut. Das Gebirge wird mittels Reißzahn, welcher an einem Kettendozer montiert ist, gelöst und anschließend durch den Kettendozer von oben über die Bruchwandkante abgestoßen, und so einem Hauwerk auf der unteren Etage zugemischt. Dieses, sehr weiche und teils tonige Material wäre ohne diese Zumischung nur schwer zu brechen. In den tieferen Lagen dieser Schichten wird das Gebirge zunehmend härter, was eine Auflockerung durch Sprengen notwendig macht.

Aktuell werden in den härteren Schichten Wandsprengungen von 3-30m hohen Bruchwänden durchgeführt. Der hier hauptsächlich vorkommende Kalkstein wird einreihig oder mehrreihig gesprengt, mit einem Radlader geladen und mit SLKW zur Brecheranlage gefördert. Für das Herstellen der Sprenglöcher werden Immlochhammerbohrgeräte mit dem Durchmesser 90mm verwendet, und das Bohrmehl wird für chemische Analysen und als Besatz eingesetzt. Die Zündung der Sprenglöcher erfolgt durch NONEL-Zünder, deren Zündung durch einen elektrischen Zünder erfolgt. Übliche Sprengparameter im Steinbruch werden in der folgenden Tabelle beschrieben.

BOHRLOCHLÄNGE	3,0 – 32,5m
BOHRLOCHDURCHMESSER	90mm
BOHRLOCHNEIGUNG	78 – 80°

BOHRLOCHANZAHL	5 - 100
UNTERBOHRUNG	0 – 1m
VORGABE	2,5 – 4,1m
SEITENABSTAND	2,5 – 4,5m
REIHENANZAHL	1 – 8
VERZÖGERUNG	17; 25; 42ms
KUBATUR	93 – 13800m ³
SPEZ. LADEMENGE	89 – 323g/m ³
SPRENGSTOFF PRO ZÜNDZEITSTUFE	1,4 – 90kg

Tabelle 1: Übliche Parameter der Sprenganlage

Im Steinbruch der JCF in Wildegg wird darauf gesetzt, dass ein guter Sprengerfolg nur möglich ist, wenn Bohr- und Sprengarbeiten von ein und derselben Person durchgeführt werden. Deshalb führt jeweils ein Mitarbeiter alle notwendigen Arbeiten für eine Sprengung der Bruchwand durch. Da die Zuständigkeit der Sprengbefugten Großteils mit der Einteilung der Abbaustellen übereinstimmt, kann gezielt Erfahrung des jeweiligen Bereiches eingebracht werden. Diese Erfahrung erlaubt den Mitarbeitern gezielt auf Abweichungen vom Regelzustand und Ausnahmesituationen, mittels kleinen Adaptierungen des Löseprozesses einzugehen. Die hier angesprochenen Abweichungen beziehen sich auf übermäßiges Wasservorkommen, Großklüfte im Bohrloch oder besonders geringer Distanz zu den Anwohnern. Die hierfür eingesetzten Maßnahmen wurden in den letzten Jahren häufig geändert und optimiert.

Der hochwertige Kalkstein des Hauptrogensteins in der Oberegg ist beinahe erschöpft, und 2013 wurde an dieser Abbaustelle kein Material gewonnen. Am 1. April 2014 fand eine Sprengung in der Oberegg statt, primär befindet sich dieser Teil des Steinbruchs jedoch schon in der Rekultivierungsphase. Es sind hier noch Restbereiche abbaubar, was 2014 geschehen soll. Im westlichen Bereich wird aktuell eigenes Moränenmaterial aus dem Bereich Steinbitz deponiert, zukünftig wird die Oberegg zusätzlich mit Fremdmaterial aufgefüllt.

An der Abbaustelle Unteregg, an der die größte Sprengstoffmenge zum Einsatz kommt, werden beide Teile der geteilten Ladesäule, Fußladung und Schaftladung, separat gezündet. Es werden zwei unterschiedliche Sprengstofftypen, Tovex A und Tovex T des Herstellers SSE Societe Suisse des Explosifs, verwendet. Die Fußladung setzt sich aus beiden Typen zusammen, in der Schaftladung kommt nur Tovex T zum Einsatz. Da Sprengerschütterungen maßgeblich von der eingesetzten Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe abhängig sind, muss hierbei auch die Stärke des Sprengstoffes berücksichtigt werden, um den stärkeren Ladungsteil zu identifizieren bzw. beide Typen addieren zu können. In Tabelle 2 sind einige technische Daten der Sprengstoffe zu sehen.

	TOVEX A	TOVEX T
PATRONE	Ø60 x 800mm	Ø50 x 800mm
PATRONENGEWICHT	2,5kg	1,67kg
ENERGIE	3,5MJ/kg	2,81MJ/kg
GASVOLUMEN	890l/kg	910l/kg

Tabelle 2: Technische Daten der Sprengstoffe Tovex A und Tovex T (www.explosif.ch 2014)

Um die unterschiedlichen Stärke beider Sprengstoffe vergleichen zu können, erfolgt eine Bewertung über Explosionsenergie und Gasvolumen, relativ zu LFB-Dynamite, dargestellt in Formel 1.

$$s = \frac{5}{6} * \frac{Q}{Q_0} + \frac{1}{6} * \frac{V}{V_0}$$

Formel 1: Sprengstoffstärke relativ zu LFB-Dynamite (ESSEEM S.46)

s Sprengstoffstärke relativ zu LFB-Dynamite

Q Sprengstoffenergie [MJ/kg]

Q₀ ... Sprengstoffenergie von LFB-Dynamite 5MJ/kg

V Gasvolumen [l/kg]

V₀ ... Gasvolumen von LFB-Dynamite 850l/kg

$$s_{TovexA} = \frac{5}{6} * \frac{3,5}{5} + \frac{1}{6} * \frac{890}{850} = \underline{\underline{0,758}}$$

$$s_{TovexT} = \frac{5}{6} * \frac{2,81}{5} + \frac{1}{6} * \frac{910}{850} = \underline{\underline{0,647}}$$

$$\frac{s_{TovexA}}{s_{TovexT}} \approx \frac{1}{0,85}$$

Formel 2: Berechnete Sprengstoffstärke

Formel 2 zeigt, dass der Sprengstofftyp Tovex T in etwa 85% der Sprengkraft des Typs Tovex A aufweist. Rechnerische Versuche haben jedoch gezeigt, dass eine separate Betrachtung beider Sprengstoffarten aufgrund dieser Sprengstärke keinen wesentlichen Unterschied ergibt. Deshalb wird auf den Einsatz eines Vergleichsfaktors verzichtet.

Gelegentlich wird zusätzlich Sprengschnur der Firma SSE mit der Bezeichnung Detonex verwendet. Da diese Sprengstoffmenge sehr gering ist, und anhand der Sprengprotokolle der Einsatz pro Bohrloch nicht ersichtlich ist, wird sie für die Erschütterungsanalysen vernachlässigt. Für die Untersuchungen des Sprenglärms ist der Einsatz von Sprengschnur jedoch maßgeblich und wird hierfür nicht vernachlässigt.

4.1 Aufzeichnung des Abbaugeschehens

Die Bohr- und Sprengarbeiten eines Abschlages werden von derselben Person durchgeführt, weshalb es keine Aufzeichnungen des Bohrprozesses als Kommunikation zum nächsten Arbeitsschritt gibt.

Auf einem Sprengprotokoll werden Bohr-, Spreng- und Umgebungsparameter aufgezeichnet:

- Allgemein: Datum, Uhrzeit, Sprengort, Koordinaten der Sprengung
- Bohrparameter: Bohrlochnummer, Bohrlochtiefe, Unterbohrung, Lochneigung, Bohrlochdurchmesser, Seitenabstand, Vorgabe (an einer Stelle gemessen)

- Sprengparameter: Sprengstoffmenge, Zündfolge, Anzahl der Zünder pro Bohrloch, Zündertyp, Züandschnurverbrauch, spezifische Sprengstoffverbrauch
- Umgebung: Bodenverhältnisse (nass oder trocken), Windrichtung beim Sprengen, Wetterlage beim Sprengen
- Bemerkungen

Allerdings werden einige Parameter, welche die Erschütterungen beeinflussen, nicht protokolliert:

- Sprengverfahren (Auflockerungssprengung oder Gewinnungssprengung): Aufgrund unterschiedlicher persönlicher Definitionen einer Auflockerungssprengung und fehlenden Anmerkungen über z.B. gezielte Reduktion des Sprengstoffes aufgrund anschließendem Reißen, können Auflockerungssprengungen anhand der Aufzeichnungen nicht identifiziert werden. Da die persönlichen Definitionen einer Auflockerungssprengung auseinanderklaffen, ist es fraglich ob Auflockerungssprengungen, welche das Ziel haben das Gebirge nicht zu lösen sondern nur vor zu schädigen, tatsächlich angewandt werden. Die sprengtechnische Auflockerung vor Einsatz des Dozers löst das Gebirge in der Regel so, dass es mit einem Radlader ladbar wäre. Die Anwendung des Reißzahnnes erfolgt nur situativ und erleichtert das Abschieben des Dozers.
- Vorgabe jedes Bohrloches: Variierende Vorgaben der Bohrlöcher können zu einem schlechten Zerkleinerungsergebnis, erhöhten Erschütterungen und einem Sicherheitsrisiko (Steinflug) führen.
- Sprengstoffmenge in Fußladung und Schaftladung (entspricht Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe): Da die Sprengdokumentation nur Aufschluss über die Gesamtmenge beider Typen gibt, ist die tatsächliche Sprengstoffmenge beider Zündzeitstufen nicht erkennbar. Als Referenzsprengung wird in dieser Arbeit die Sprengung vom 20.05.2014, 14.00h herangezogen. Dabei wurden in der längsten Ladesäule 50kg Tovex A und 15kg Tovex T in der Fußladung, und 75kg Tovex T in der Schaftladung verwendet. Für alle Sprengungen dieser Art wurde eine äquivalente Ladesäule angenommen.

- Zwischenbesatz und Endbesatz (Länge und Material): Als Besatz wird meistens Bohrmehl, seltener Split eingesetzt. Die Position des Zwischenbesatzes, Besatzart und –menge spielen zerkleinerungs-, sicherheits- und emissionsstechnisch eine Rolle.
- Zündplan und Verzögerung der einzelnen Ladungen: Um die Erschütterungen gering zu halten ist darauf zu achten, dass die Verzögerung nicht zu groß (Gefahr von Abkappen, Steinflug etc.) und nicht zu klein (zu geringer Freiheitsgrad, Summierung des Sprengstoffs pro Zündstufe etc.) ist. Richtiges Öffnen der Sprenganlage reduziert ebenfalls Sprengerschütterungen.
- Einspannsituation (an wie vielen Seiten ist die Bruchwand eingespannt, liegt das Hauwerk der vorherigen Sprengung noch vor der aktuellen Bruchwand beim Sprengen): Der Grad der Einspannung verlangt ein angepasstes Sprengen um Erschütterungen gering zu halten.
- Anmerkungen: Es werden immer wieder Versuche mit neuen Zündern, Sprengstoffen, Verzögerungen, AirDecks usw. durchgeführt. Diverse Versuche werden nicht protokolliert, wodurch keine Auswertung der Ergebnisse erfolgen kann und man keine klare Aussage über die Wirkung der geänderten Parameter treffen kann. Da Anpassungen des Prozesses bei z.B. Wasser im Bohrloch oder Großklüften nicht aufgezeichnet werden, kann deren Wirkung nicht analysiert und so keine Aussage über deren Einfluss auf die Erschütterungen gemacht werden.

Abschließend ist zu sagen, dass die meisten Protokolle nicht vollständig ausgefüllt sind, und die Sprengungen dadurch nicht 100%-ig nachvollziehbar sind.

Die eingetragenen Werte der Vorgabe, Seitenabstand, Unterbohrung, Sprengstoff pro Bohrloch, Bodenverhältnisse usw. entsprechen zum Großteil Durchschnittswerte des gesamten Abschlages, also keineswegs den wahren Verhältnissen. Bei Sprengungen mit geteilter Ladesäule ist die verwendete Sprengstoffmenge je Zündstufe nur durch einen Anhaltswert des Sprengmeisters, mit einer Variation von +/-10kg gegeben.

Da die tatsächliche Variation der Bohr- und Sprengparameter aus den Protokollen nicht ersichtlich ist, können diese für die Erschütterungsprognose nicht herangezogen werden.

5 Aktuelle Emissionen

Da aktuell durch Bohren und Sprengen abgebaut wird, werden folgende Emissionen abgegeben:

- Sprengerschütterungen
- Staub
- Lärm / Air Blast
- Steinflug

Wie in der Zielsetzung beschrieben, liegt der Fokus dieser Arbeit auf den Sprengerschütterungen.

5.1 Sprengerschütterungen

Wird Sprengen für das Lösen von Gestein verwendet, ist es unumgänglich, dass ein gewisser Teil der Detonationsenergie, sich in Form von Erschütterung im Boden ausbreitet. Das Ausbreitungsverhalten der Wellen kann je nach vorherrschenden Gebirgseigenschaften sehr unterschiedlich sein. Die Höhe der Erschütterung, meist als Schwinggeschwindigkeit der Bodenteilchen in mm/s angegeben, mit einer gewissen Frequenz, Hz, hängt von der Art und Intensität der Energiequelle und dem Ausbreitungsverhalten ab.

Die Schweizer Norm SN 640 312a, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, schreibt eine Beurteilung der Erschütterungen durch den Betrag des

Maximalwertes des Geschwindigkeitsvektors, und der Frequenz der zu diesem Zeitpunkt dominierenden Komponente, vor. Die Norm klassifiziert vier Empfindlichkeitsklassen und drei Häufigkeitsklassen, welche die Basis für den erlaubten Höchstwert der Schwinggeschwindigkeit, zusätzlich abhängig von der Frequenz bilden. An dieser Stelle ist zu bemerken, dass bei Frequenzen unter 8Hz ein tieferer Grenzwert anzusetzen ist.

(Vgl. SN 640 312a)

Die auftretenden Sprengerschütterungen werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer betrachtet.

5.2 Staub

Die Staubentwicklung beim Bohren und Sprengen wird als gering eingestuft und verursacht im Gegensatz zur Staubentwicklung durch das Laden und Fördern keine Probleme. An den heißen und trockenen Tagen des Jahres ist es notwendig aktiv gegen Staub vorzugehen. JCF setzt zu diesem Zweck einen alten, für Bewässerungszwecke umgebauten Milchtransporter ein um die Fahrwege damit zu besprühen.

Die Staubentwicklung im Steinbruch durch die Lade- und Förderschritte von Material führen hin und wieder zu Reklamationen der Bevölkerung und muss deshalb im Auge behalten werden.

5.3 Lärm / Air Blast

Die Schallemission des Steinbruchs kann in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich der Schallbelastung durch das Sprengen und jene durch den sonstigen Betrieb, wie Brechanlagen, Radlader und SLKWs.

Da sich diese Arbeit mit Sprengemissionen beschäftigt, wurden diese weiter untersucht. Zu diesem Zweck wurden Schallmessungen von sieben Sprengungen durchgeführt. Die Aufstellung des Messgerätes war unterschiedlich, jedoch immer vor der Bruchwand. Es wurde bewusst darauf geachtet, Schallmessungen an Stellen durchzuführen, an denen hohe Emissionen zu erwarten waren. Um eine maximale Belastung zu gewähren bestand jedes Mal direkter Blickkontakt zwischen der Sprengstelle und dem Messort, sodass es keine Hindernisse dazwischen gab. Abbildung 5 zeigt die Standorte der Schallmessung als Dreiecke und die Sprengstellen als Kreise. Der Weg der Schallwellen zum Messgerät ist als gestrichelte Linie zu sehen.

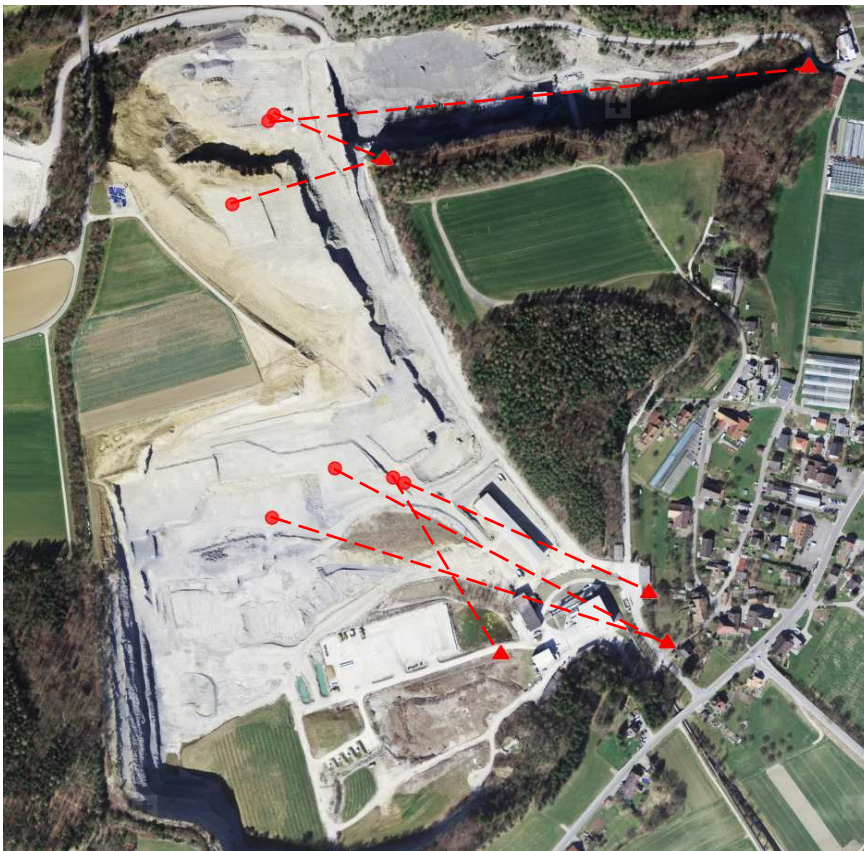


Abbildung 5: Standorte der Schallmessungen

Für die Schallmessungen wurde ein System von InstanTel, Minimate Plus, verwendet. Das Messgerät mit der Seriennummer SN BE13772 ist Eigentum der Montanuniversität Leoben und besteht aus einem Aufzeichnungsgerät, einem Geophon und einem Mikrophon. Als Auslösequelle wurde das Geophon verwendet, um die Aufzeichnung nicht durch anderweitige Lärmquellen auszulösen.

In der Literatur sind einige Bewertungsmöglichkeiten von Schallbelästigung zu finden. Die Beurteilung von Lärm erfolgt häufig durch den A-Filter bewerteten Schallpegel. Dieser Filter eliminiert Frequenzbereiche von 1-30Hz und bewertet das Geräusch ausschließlich für die Empfindung des menschlichen Gehörs, denn Frequenzen kleiner 16Hz sind für das menschliche Ohr nicht wahrnehmbar. Beim Sprengen treten jedoch sowohl hochfrequenter Schalldruck, als auch niederfrequenter Schalldruck (Air Blast) auf, welcher als Geräusch per se nur schwer identifizierbar ist. Deswegen ist die Darstellung des Schallpegels mit A-Filter für Sprengschall nicht geeignet.

(Vgl. Schillinger 2009, S.183-195)

Die dominante Frequenz bei Air Blasts liegt bei zirka 1Hz, kann jedoch Überlagerungsspitzen bis zu 30Hz erreichen (Vgl. Schillinger 2009, S.188). Die gemessenen Frequenzen liegen zwischen 2-15Hz, was beweist, dass die Verwendung eines linearen Schallpegels notwendig ist.

Neben dem unbewerteten Schallpegel (L_p) werden auch Distanz zwischen Sprengstelle und Messstelle (D), Schalldruck (p) und Frequenz (f) dokumentiert, was in Tabelle 3 zu sehen ist.

	DISTANZ	SCHALLDRUCK	SCHALLPEGEL	FREQUENZ
	(m)	(Pa(L))	(dB (L))	(Hz)
20.05.2014	143,1	56,0	129	3
21.05.2014	452,6	2,8	103	6
28.05.2014	410,6	3,3	104	14
06.06.2014	283,9	13,5	117	14
20.06.2014	218,8	17,3	119	15

23.06.2014	164,7	83,0	132	3
09.07.2014	588,2	1,3	96	2

Tabelle 3: Ergebnisse der Schalldruckmessungen

Für die Illustration der Messergebnisse wurde eine doppeltlogarithmische Darstellung des Schalldrucks und des Schallpegels über die Distanz gewählt. Diagramm 1 zeigt eine gute Linearisierung mit Determinationskoeffizienten über 0,96 als Ergebnis einer linearen Regressionsanalyse.

„Mit Hilfe einer Regressionsanalyse lässt sich die Abhängigkeit einer abhängigen Variable von einer oder mehreren unabhängigen Variablen untersuchen (einfache Regressionsanalyse respektive multiple Regressionsanalyse). Einerseits lassen sich die Zusammenhänge quantitativ beschreiben und erklären, andererseits ist es auch möglich, unbekannte Werte der abhängigen Variablen zu schätzen (Prognose).“

(Schwarz 2014)

Der Determinationskoeffizient, auch Bestimmungsmaß R^2 liegt stets zwischen 0 und 1. Es ist gleich 1, wenn alle Punkte im Diagramm exakt auf der Regressionsgeraden liegen, zwischen den Merkmalen besteht dann ein perfekt linearer Zusammenhang. Im Fall, dass der Determinationskoeffizient 0 ist, erklärt die Regressionsgerade nichts, zwischen den Merkmalen besteht keinerlei linearer Zusammenhang.

(Vgl. web.neuostatistik.de 2014)

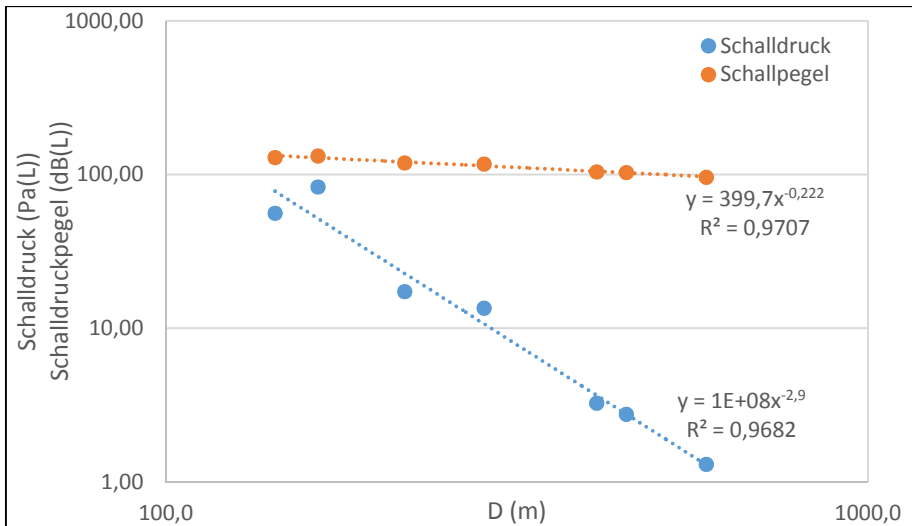


Diagramm 1: Doppellogarithmische Darstellung des Schalldrucks und des Schalldruckpegels über die Distanz

Bei den Sprengungen am 06.06.2014, 23.06.2014 und 09.07.2014 kam Sprengschnur zum Einsatz. Die getrennte Darstellung der Sprengungen mit und ohne Sprengschnur zeigt eine Linearisierung mit Determinationskoeffizienten über 0,99. Diagramm 2 zeigt deutlich, dass die Verwendung von Sprengschnur zu höheren Schallemissionen führt.

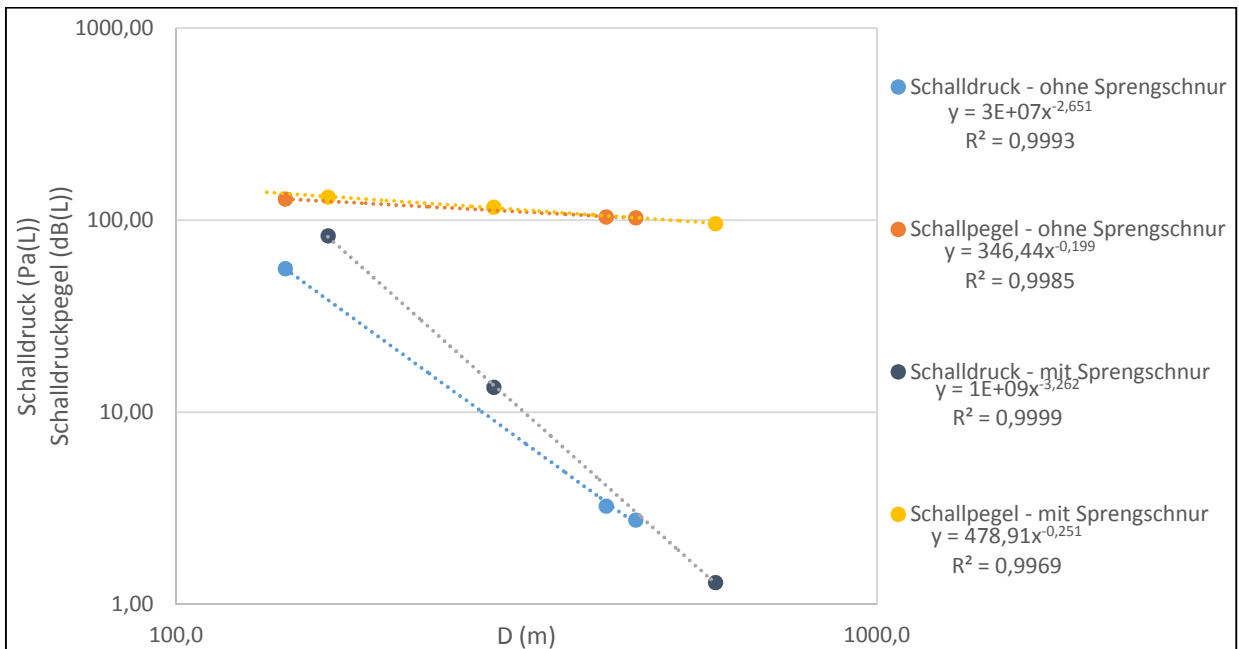


Diagramm 2: Schalldruck und Schalldruckpegel der Sprengungen mit und ohne Sprengschnur

5.4 Steinflug

Steinflug birgt ein großes Verletzungs- und Beschädigungspotential innerhalb und außerhalb des Steinbruchs, weshalb die Vermeidung von Steinflug ein primäres Ziel der Sprengarbeit sein sollte. Im Steinbruch der JCF wird der Vermeidung von Steinflug eine große Rolle zugeschrieben, und so kommt es nur äußerst selten dazu. Der aktuellste Vorfall von Steinflug mit Sachbeschädigung war zirka 2011 bei dem das Dach eines benachbarten Wohnhauses, in einer Entfernung von etwa 350m, beschädigt wurde. Es handelte sich um eine Ausnahmesituation, die nicht dem täglichen Betrieb entsprach, und hätte genauere Überlegungen bezüglich sicheren Arbeitens und eine Risikoanalyse bedurft. Dieser Vorfall kam aufgrund menschlichen Fehlverhaltens zustande und hätte verhindert werden können.

Das Auftreten von kleineren Steinflügen kann immer wieder beobachtet werden, da das Material an manchen Abbaustellen sehr wechselhaft ist und Toneinlagerungen vorkommen. Normalerweise überschreitet der Steinflug die 100m Marke nicht. Um das Risiko für Steinflug zu minimieren muss stets auf Unregelmäßigkeiten in der Bruchwand geachtet, und gegebenenfalls Anpassungen der Ladesäule vorgenommen werden.

6 Sprengerschütterungen

Dem Unternehmen JCF ist es seit vielen Jahren ein Anliegen Sprengerschütterungen aufzuzeichnen, und aus den gemessenen Daten Optimierungspotential für den Sprengbetrieb zu schöpfen. Im Laufe des letzten Jahres hat sich JCF entschieden, neue Erschütterungsmessgeräte anzuschaffen, da es immer wieder Probleme mit der Datenübertragung der bis dahin verwendeten Geräte gab.

In den umliegenden Gemeinden, Auenstein und Veltheim, sind aktuell sieben permanente Messstellen eingerichtet, an denen kontinuierlich

Erschütterungsmessungen durchgeführt werden. Zusätzlich ist eine mobile Messstelle verfügbar, welche nach Wünschen von Anrainern oder Interesse der Firma temporär installiert wird.

Dokumentiert werden der maximale Schwinggeschwindigkeitsvektor in mm/s und die Frequenz der maximalen Schwinggeschwindigkeitskomponente in Hz, was den Anforderungen der Schweizer Norm SN 640 312a entspricht (Vgl. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute 1992, S.7).

6.1 Messstellen und Messgeräte

Bis ins Jahr 2013 waren rund um den Steinbruch zehn Messstellen eingerichtet, deren Lage in Abbildung 6 zu sehen sind. Die Messungen wurden mit Geräten der Firma *Walesch Electronic GmbH* durchgeführt. Verwendet wurde ein System aus Vibras 7003 und 4005 mit Geophonen MST 3004. Die Datenübertragung via Kabel oder Funk war jedoch sehr störungsanfällig, weshalb auf ein neues System gewechselt wurde.



Abbildung 6: Lage der Messstellen bis Oktober 2013

Im Zeitraum von Oktober 2013 bis Februar 2014 wurden alle alten Geräte abgebaut und die Messstellen 1-7 mit neuen Geräten der Firma *GeoSIG* bestückt. Das *GMSplus* Messsystem erlaubt eine drahtlose Übertragung der Messwerte via GPS unmittelbar nach dessen Erfassung. Die Messwerte werden auf einen externen Server geladen, und sind dort jederzeit einsehbar. Die Messstelle besteht aus einem Gehäuse, in dem ein triaxialer Erschütterungssensor eingebaut ist, und einem Modem, das der Datenübertragung dient. Der eingesetzte Sensor

der Firma *GeoSIG* mit der Bezeichnung *VE-33* erfasste einen Frequenzbereich von 4,5 Hz bis 315 Hz.

Aktuelle Messstellen

Zusätzlich zu den sieben permanenten Messstellen wurde das, für temporäre Messungen zur Verfügung stehende Gerät am 04.07.2014 im Ortsteil „Au“ auf Anrainerwunsch aufgestellt.

Am 03.07.2014 fand eine Besichtigung der Messstellen statt, deren Beobachtungen im Anhang beschrieben sind. Die angegebenen Koordinaten der Messstellen beziehen sich auf den Bezugsrahmen LV03 des schweizerischen Landeskartensystems und wurden aus dem Geoinformationssystem (<http://map.geo.admin.ch/>) abgelesen, da der GPS Datenempfang an den Messstellen nicht möglich war. Die Besichtigung hat gezeigt, dass die Aufstellung der Messgeräte dem Stand der Technik entspricht. Trotzdem ist zu berücksichtigen, dass die Standorte und der Untergrund der Messgeräte keineswegs ident sind, sich dadurch Unterschiede in der Aufzeichnung ergeben können.

Vergleichstest

Am 21.Mai 2014 wurden in der Garage des Steinbruchs (654144/ 252343) das temporäre Messgerät von *GeoSIG* und ein, bis 2013 verwendetes, Gerät von *Walesch* nebeneinander installiert, um einen Vergleichstest durchzuführen, und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Messgeräte zu ermitteln. Die Standortbedingungen wurden den Messstellenbedingungen angepasst, und beide Geräte wurden auf Beton und an der Wand ohne weitere Befestigung aufgestellt. Die in Abbildung 7 gezeigte Platzierung der Messgeräte wurde für die letzten drei Messungen in Tabelle 4 vertauscht, um eine Beeinflussung zu untersuchen.



Abbildung 7: Aufstellung für Vergleichstest

Die Ergebnisse dieses Vergleichstests sind in Tabelle 4 zu sehen. Die Distanz (D) beider Messgeräte zur Sprengstelle war bei jeder Sprengung dieselbe, dennoch wurden unterschiedliche Werte für Schwinggeschwindigkeit (v) und Frequenz (f) erfasst. Die Abweichung definiert sich wie folgt:

$$f_{\text{Abweichung}} = f_{\text{Walesch}} - f_{\text{GeoSIG}}$$

$$v_{\text{Abweichung}} = v_{\text{Walesch}} - v_{\text{GeoSIG}}$$

Formel 3: Definition der Abweichung des Vergleichstests

	D (m)	WALESCH		GEOSIG		ABWEICHUNG	
		f (Hz)	v (mm/s)	f (Hz)	v (mm/s)	f (Hz)	v (mm/s)
21.05.2014	410	16	1,89	25	1,79	-9	0,10
28.05.2014	356	22	2,05	15	2,32	7	-0,27
06.06.2014	279	14	1,73	15	1,94	-1	-0,21
13.06.2014	262	14	1,04	30	1,64	-16	-0,60
16.06.2014	638	14	1,62	25	4,51	-11	-2,89
20.06.2014	293	20	2,55	22	2,56	-2	-0,01
23.06.2014	599	39	0,76	94	1,35	-55	-0,59
27.06.2014	418	16	1,45	96	1,58	-80	-0,13

Tabelle 4: Ergebnisse des Vergleichstest eines Walesch und eines GeoSIG Gerätes

Eine negative Abweichung bedeutet, dass die gemessenen Werte des GeoSIG-Gerätes höher waren, was bei sieben von acht Messungen der Fall war. Die aufgetreten Abweichungen der Daten lassen keine deutliche Aussage über die Vergleichbarkeit beider Geräte zu.

7 Analyse der Sprengerschütterungen

Gemäß der schweizerischen Norm SN640 312a erfolgt die Auswertung von Sprengerschütterungen durch den maximalen Schwinggeschwindigkeitsvektor, kurz Schwinggeschwindigkeit, in mm/s.

Für die Analyse dieser Arbeit werden Messwerte aus den Jahren 2013 und 2014 verwendet. In diesem Zeitraum stehen Messdaten aus zwei verschiedener Quellen zur Verfügung.

- Schwinggeschwindigkeiten, gemessen mit Geräten der Marke Walesch im Zeitraum von Jänner 2013 bis Februar 2014. Im Jahr 2013 waren zehn Messstellen aktiv und es fanden 113 Sprengungen statt. Demzufolge ergibt sich eine theoretische Datenmenge von 1130 Erschütterungswerten. Tatsächlich steht allerdings nur eine Menge von rund 200 Messungen zur Verfügung. Der Hauptgrund dafür ist der zuvor angesprochene häufige Ausfall der Datenübertragungsverbindung. Zusätzlich war der Triggerwert der Aufzeichnung auf einen Wert von 0,5mm/s eingestellt, wodurch Messungen im unteren Erschütterungsbereich fehlen.
- Im Jänner 2014 wurden zwei Walesch-Geräte durch GeoSIG-Geräte ersetzt, Ende Februar folgten weitere fünf. Daraus ergibt sich die aktuelle Messstellensituation mit sieben aktiven Messgeräten. Dieses System zeichnet sich durch die hohe Übertragungszuverlässigkeit der Daten aus, welche lediglich drei Messwerte nicht aufzeichneten. Diese Geräte zeichnen rund um die Uhr Erschütterungen auf, wodurch unabhängig des Triggerwertes auch sehr kleine Sprengerschütterungen zur Verfügung stehen.

7.1 Häufigkeitsanalyse

Die Erschütterungsmesswerte aus dem Zeitraum 04.01.2013 bis 06.06.2014 wurden einer Häufigkeitsanalyse unterzogen, um die Häufigkeit der auftretenden Erschütterungsschwere ersichtlich zu machen.

(mm/s)	ANZAHL							Gesamt
	<=0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	>3,0	
MST1	37	5	2	*	*	*	*	44
MST2	1	15	19	12	4	2	*	53
MST3	13	48	9	3	2	*	*	75
MST4	78	11	7	*	*	*	*	96
MST5	4	27	11	6	1	2	*	51
MST6	1	22	36	30	21	5	5	120
MST7	45	7	*	*	*	*	*	52
MST8	2	5	*	2	*	*	*	9
MST9	1	2	*	*	*	*	*	3
MST10	12	6	*	*	*	*	*	18
							SUMME=	521

Tabelle 5: Häufigkeitsanalyse der Erschütterungswerte von 04.01.2013 bis 06.06.2014

Der in der Abbaubewilligung festgelegte Grenzwert von 3mm/s wurde im Zeitraum von 04.01.2013-06.06.2014 fünf Mal überschritten. Jeder dieser fünf Überschreitungen wurde durch die Messstelle 6 aufgezeichnet.

In Diagramm 3 und Diagramm 4 ist zu sehen, dass die gemessenen Erschütterungswerte >1,5mm/s an den Messstellen 2, 3, 5, 6 und 8 erfasst wurden. Die aufgezeichneten Werte der Messstellen 1, 4, 7, 9 und 10 sind zur Gänze <1,5mm/s.

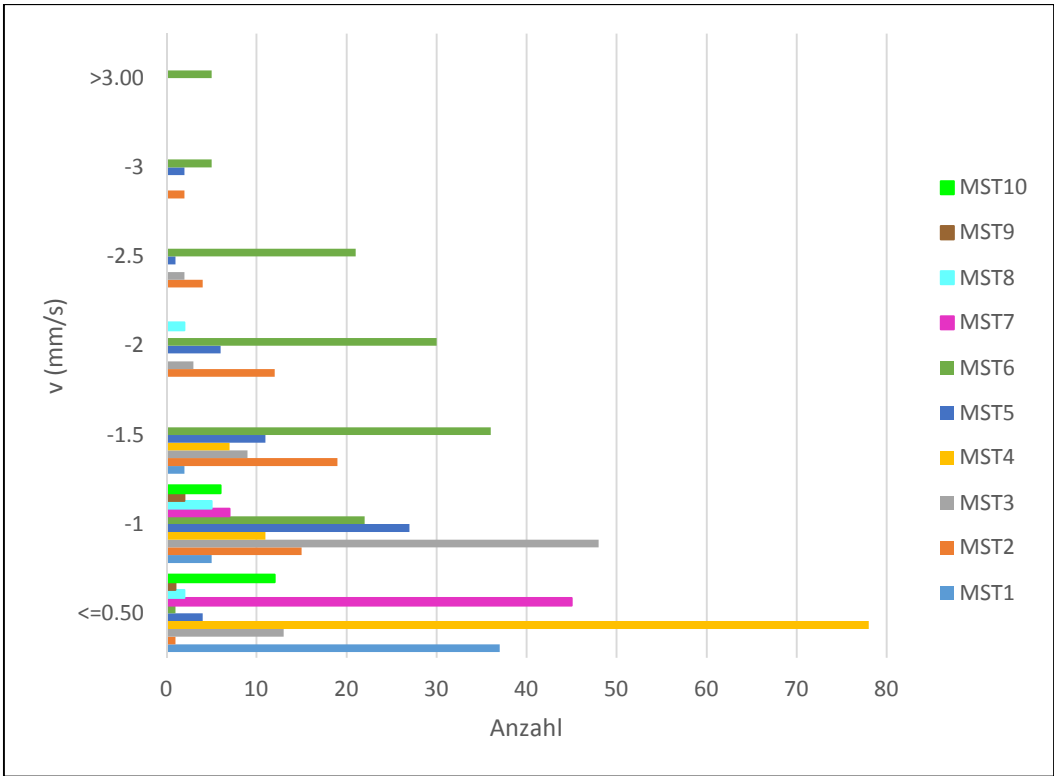


Diagramm 3: Balkendarstellung der Häufigkeitsanalyse

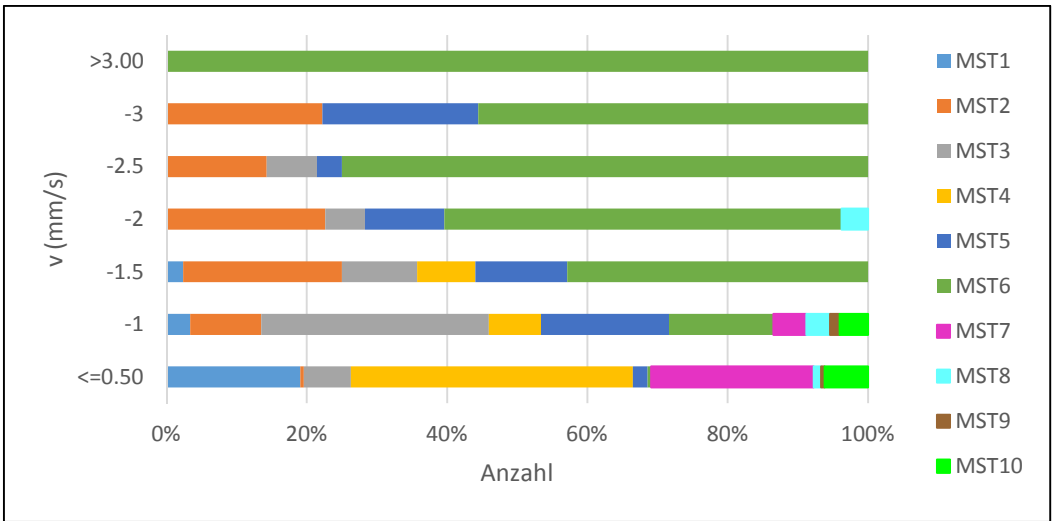


Diagramm 4: Prozentuelle Balkendarstellung der Häufigkeitsanalyse

Demzufolge gibt es Messstellen, an denen generell höhere Erschütterungen gemessen werden als an anderen Messstellen. Die Ursache dieser Teilung der Messstellengesamtheit wird in den folgenden Analysen untersucht.

7.2 Schwinggeschwindigkeit – Distanz- Analyse

Die Darstellung der Schwinggeschwindigkeiten der Messungen über die Distanz zum Sprengort soll eine Aussage über die geologischen Verhältnisse und die Ausbreitungscharakteristik ohne den Einfluss von Sprengparametern ermöglichen.

Die verwendeten Daten der folgenden Diagramme stammen aus dem betrachteten Zeitraum 2013 bis 2014 und beiden Gerätesystemen. Obwohl die Vergleichbarkeit der Messungen durch verschiedene Geräte nicht bewiesen ist, werden hier beide Datenmengen vermischt, um eine größere Datenmenge zu erhalten.

Grundgesamtheit der Erschütterungsmessungen

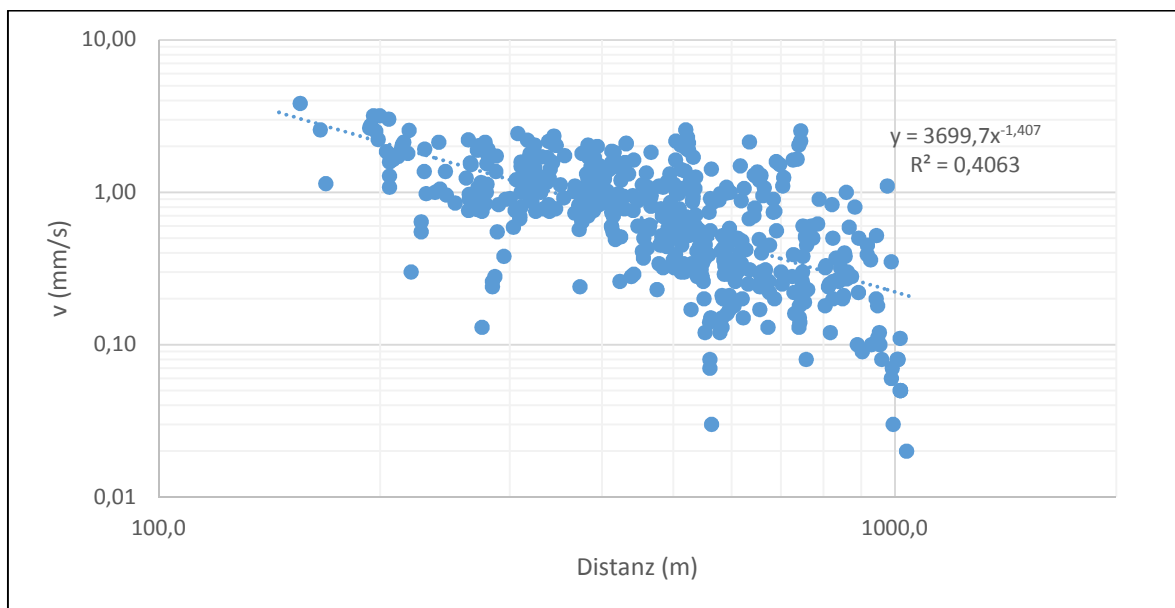


Diagramm 5: Schwinggeschwindigkeit über die Distanz (Messwerte aus 2013 und 2014)

Diagramm 5 zeigt eine doppellogarithmische Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz der Messstelle vom Sprengort. Die erstellte Trendlinie besitzt einen Determinationskoeffizienten von 0,4063. Der geringe Wert des Determinationskoeffizienten zeigt, dass ein linearer Zusammenhang in dieser Darstellung nicht gegeben ist und die

Ausbreitungscharakteristik der Erschütterungswellen stark variiert. Da die Bodenwellen zu den einzelnen Messstellen unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt sind, wird weiter untersucht ob jede Messstelle für sich ein klares Verhalten zeigt.

Erschütterungsmessungen verschiedener Messstellen

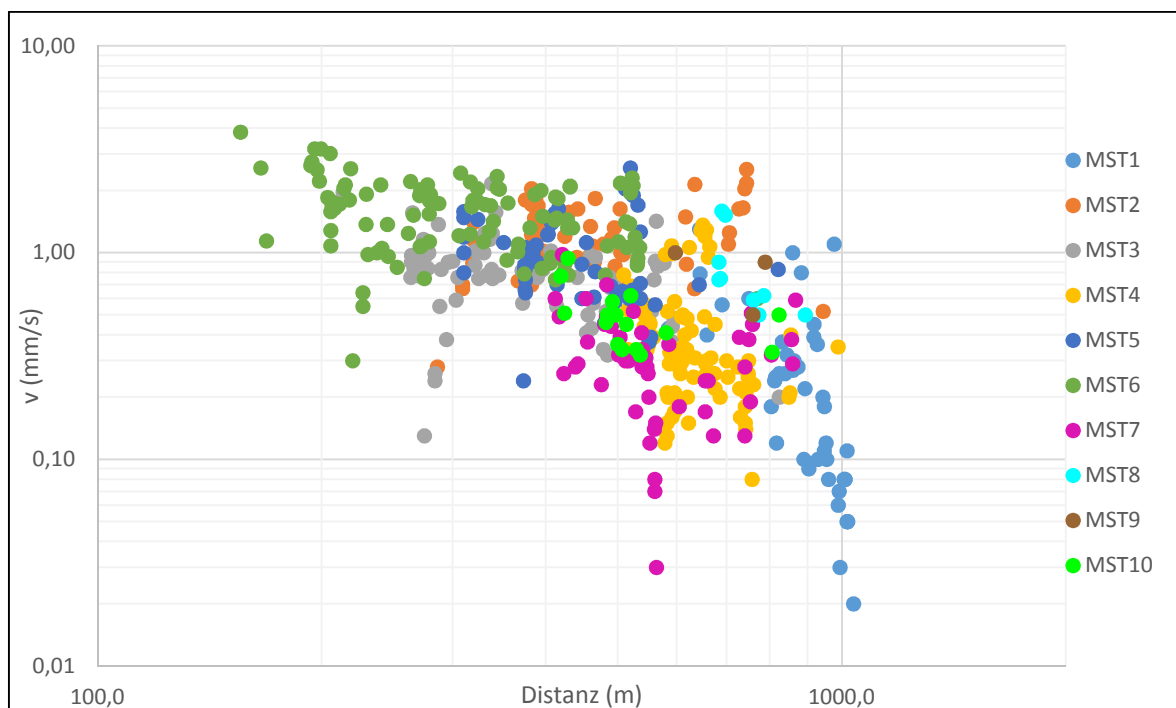
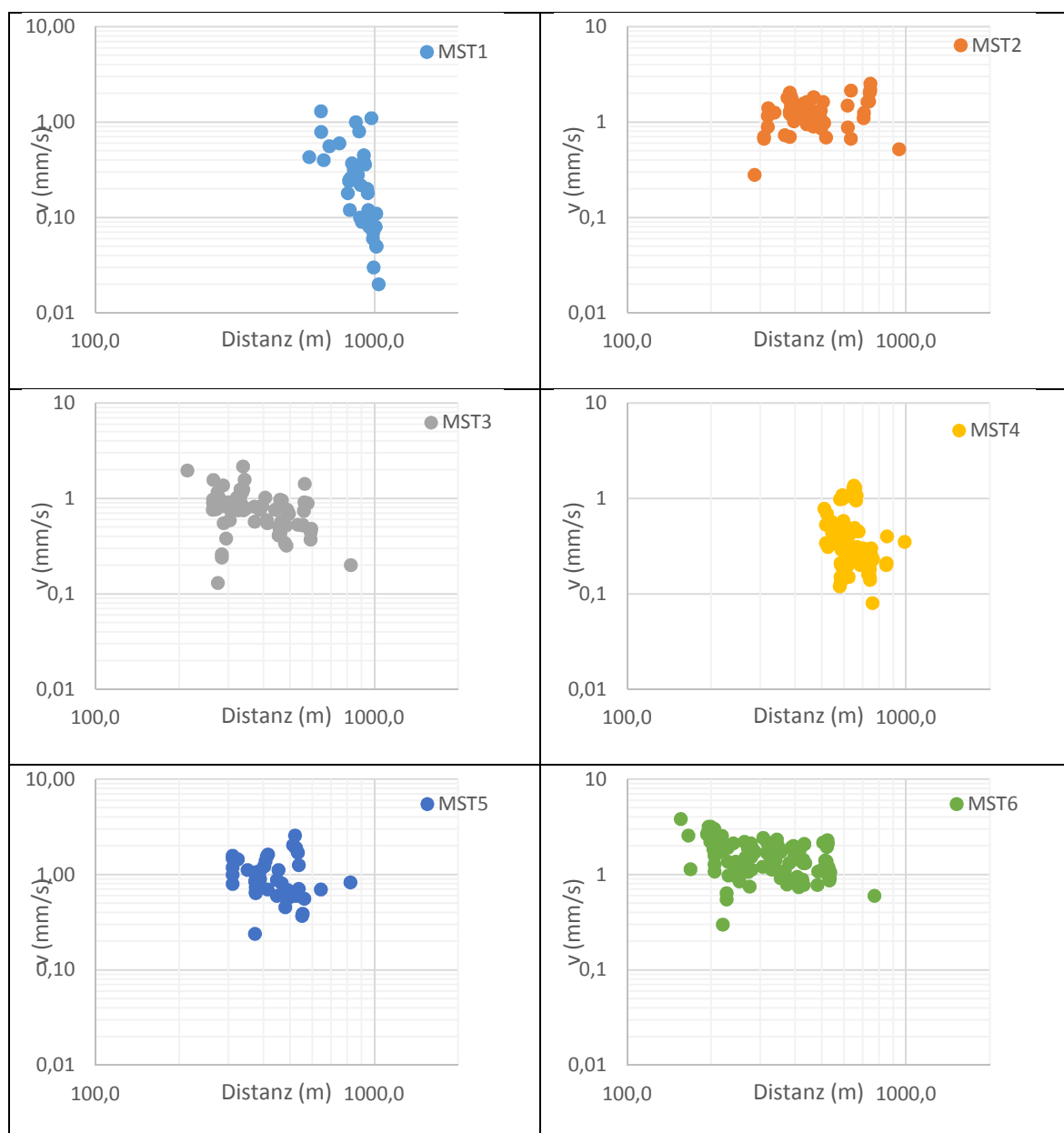


Diagramm 6: Schwinggeschwindigkeit über die Distanz mit Darstellung der einzelnen Messstellen

In Diagramm 6 sind die Messdaten farblich nach ihren zugehörigen Messstellen (MST) dargestellt. Es zeigt sich, dass die verschiedenen Messstellen sehr unterschiedliches Verhalten zeigen, und eine getrennte Betrachtung der einzelnen Messstellen notwendig ist.

In Tabelle 6 sind die Einzeldiagramme der doppellogarithmischen Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz der einzelnen Messstellen zu sehen. Es ist hier klar ersichtlich, dass eine allgemeine Prognose der Erschütterungen aller Messstellen nicht möglich ist. Die verschiedenen Messstellen zeigen sehr

unterschiedliche Trends in dieser Darstellung und werden für die weitere Analyse getrennt betrachtet. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass bei gleichem Sprengen die Ausbreitungscharakteristik der Erschütterungswellen zu den verschiedenen Messstellen sehr unterschiedlich ist. Zusätzlich ist in dieser Darstellung keine eindeutige Linearisierung erkennbar. Zumeist bilden die Messdaten der Messstellen Punktwolken, aus denen keine Information für eine Prognose gewonnen werden kann. In den Diagrammen der MST1 und MST6 ist eine leichte Linearisierung zu erkennen. Diese bilden sich allerdings sehr unterschiedlich aus, die Punkte der MST1 liegen beinahe vertikal, während MST6 einen horizontalen Trend zeigt.



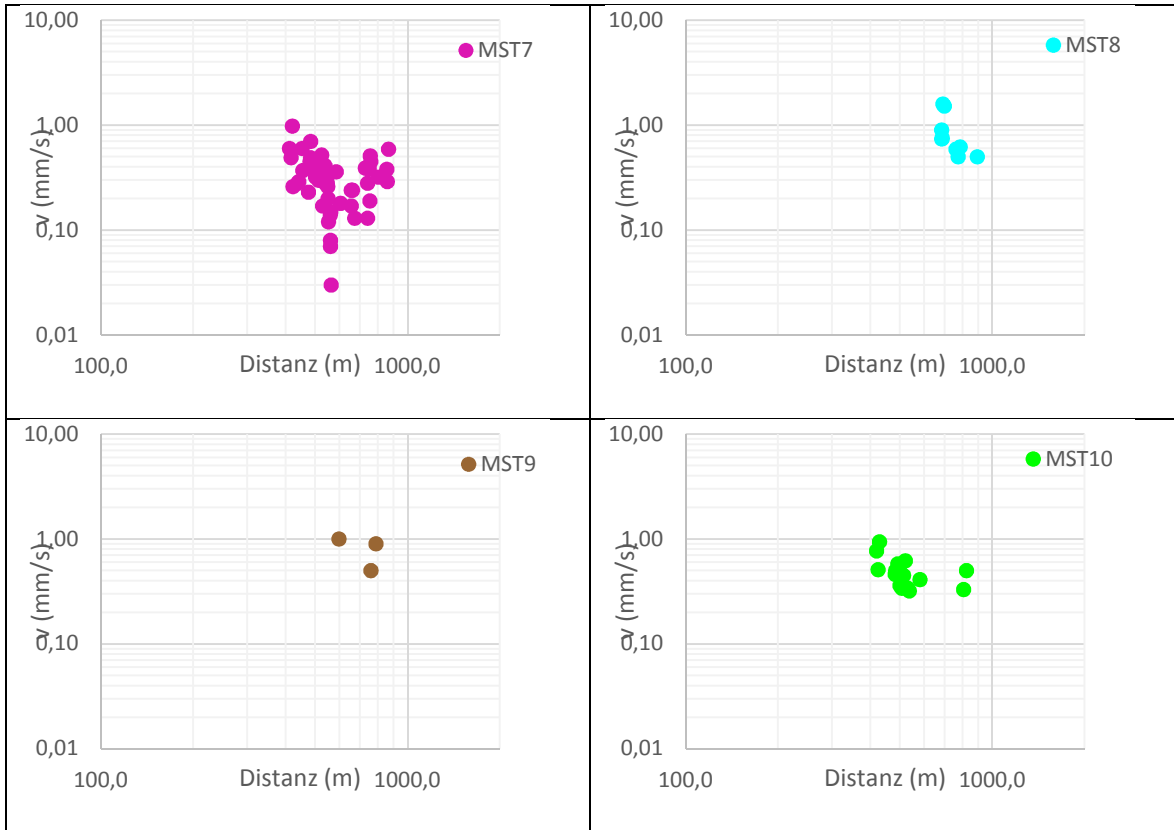


Tabelle 6: Einzeldiagramme der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz für die Messstellen

Erschütterungsmessungen verschiedener Geräte

Da die Messstellen 8,9 und 10 Ende 2013 abgebaut wurden und mit GeoSIG-Geräten nicht wieder in Betrieb genommen wurden, stehen aus diesen Messstellen nur Werte des Walesch-Systems zur Verfügung. Messstelle 5 hat im Jahr 2013 keine Ereignisse erfasst, hier besteht die Messdatenmenge rein vom GeoSIG-Gerät. An den restlichen Messstellen 1, 2, 3, 4, 6 und 7 sind Erschütterungen beider Geräte vorhanden. Sie sind in Tabelle 7 dargestellt, um ein vergleichbares Verhalten zu untersuchen.

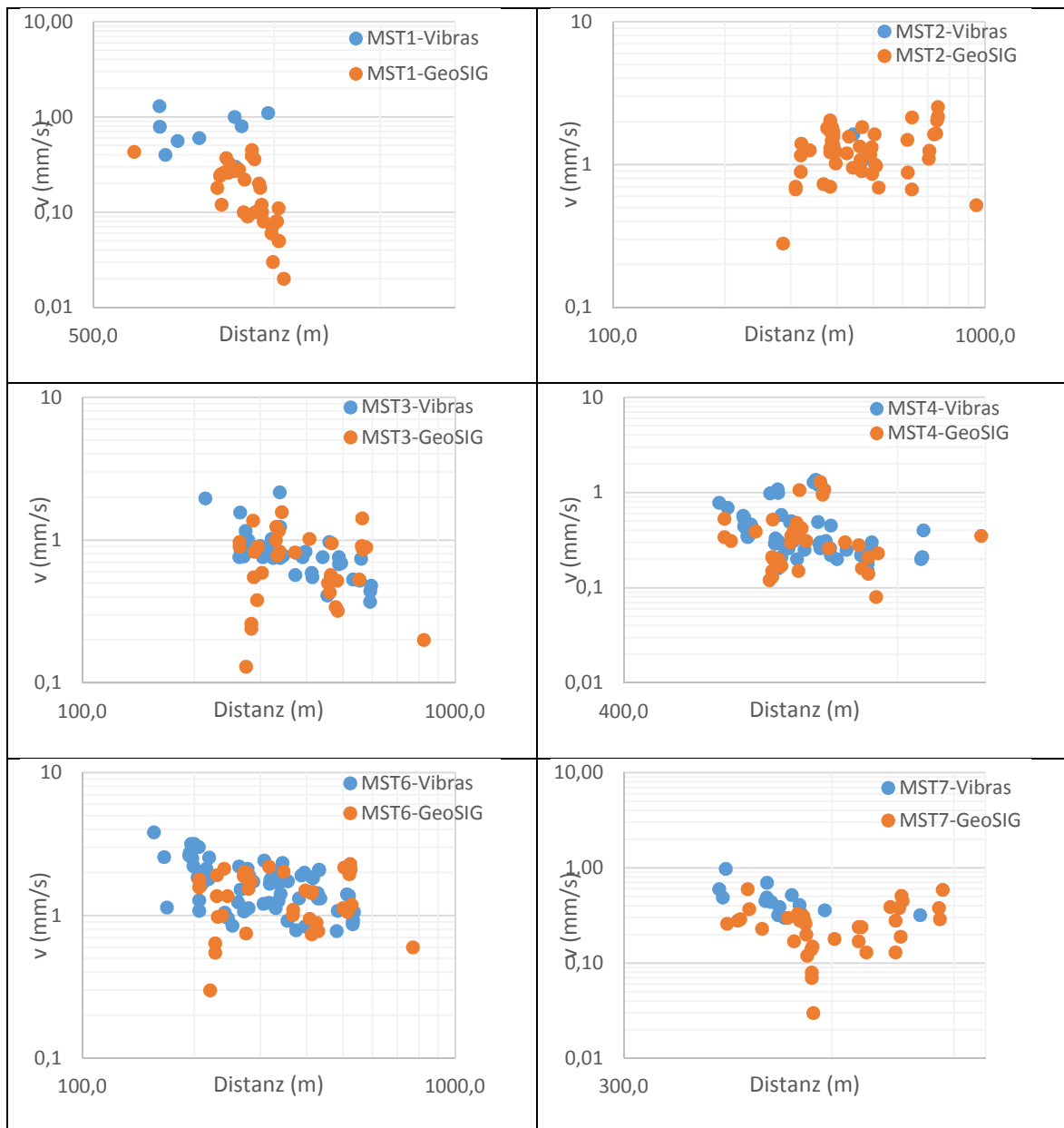


Tabelle 7: Vergleich der Messwerte beider Geräte für jede Messstelle in v-D-Darstellung

- MST1 erfasst generell niedrige Erschütterungen. In der Darstellung ist zu sehen, dass durch den Triggerwert des Vibras die untere Bandbreite fehlt, sich aber generell ähnliches Verhalten zeigt.
- An MST2 sind zu wenig Datensätze der Vibras vorhanden um eine Aussage treffen zu können.
- Die Darstellungen von MST3 und MST6 zeigen Ausreißer in den GeoSIG-Daten. Auch hier liegt es am zu hohen Triggerwert der Walesch-Geräte.
- Für MST4 ergibt sich von beiden Geräten eine ähnliche Punktwolke.
- Im Diagramm von MST7 ist kein verwandtes Verhalten sichtbar.

Da aus den hier dargestellten Diagrammen keine eindeutige Aussage über die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Messsysteme gemacht werden kann, werden die Analysen vorläufig mit den Messwerten beider Geräte durchgeführt, um eine genügend große Datenmenge zur Verfügung zu haben.

Einteilung in Gruppen

Die Messdaten zeigen, eingeteilt in Messstellen und Gerätetyp kein ähnliches Verhalten, weshalb im nächsten Schritt konträr vorgegangen wird.

In diesem Analyseschritt werden die Erschütterungen anhand Diagramm 5 in drei Gruppen ähnlichen Verhaltens eingeteilt. Anschließend wird die Verteilung dieser Gruppen auf unterschiedliche Umstände untersucht.

- Gruppe 1: Messpunkte unterhalb der erstellten Trendlinie zeigen relativ gesehen geringe Erschütterungen bei gleicher Distanz.
- Gruppe 2: Zwei parallele Geraden über und unter der Trendlinie symbolisieren einen Übergangsbereich.
- Gruppe 3: Werte, die oberhalb der Trendlinie liegen weisen eine überdurchschnittliche hohe Erschütterung auf und bei gleicher Distanz sind die Messwerte höher als die der Gruppe 1.

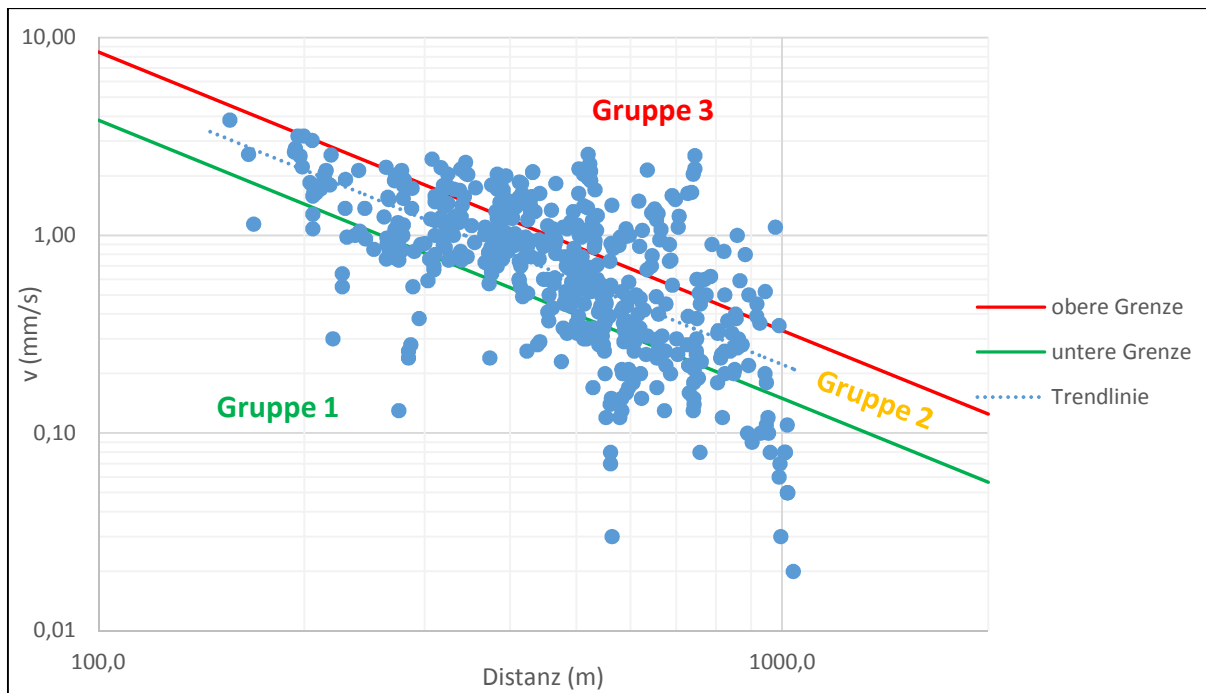


Diagramm 7: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-Distanz

Diagramm 7 illustriert die Einteilung der Erschütterungswerte in drei unterschiedlichen Gruppen. Bei einer Distanz von zum Beispiel 500-600m erstreckt sich das Schwinggeschwindigkeitsspektrum von 0,03-2,60mm/s. Die durchaus große Schwankungsbreite der Erschütterungswerte bei gleicher Distanz lässt sich womöglich auf unterschiedliche Ausbreitungscharakteristika oder unterschiedliches Sprengen zurückzuführen und muss für eine exaktere Aussage genauer betrachtet werden.

Da die Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz eine sehr große Varianz zeigt, werden im nächsten Schritt Analysen mit der Darstellungen der Schwinggeschwindigkeit über die Skalierere Distanz durchgeführt.

7.3 Schwinggeschwindigkeit – Skalierte Distanz- Analyse

Aus der Literatur ist der lineare Zusammenhang der Schwinggeschwindigkeit über der Skalierten Distanz in einer doppellogarithmischen Darstellung bekannt. Die Skalierte Distanz bezieht neben der Entfernung der Messstelle zum Sprengort auch die Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe mit ein und errechnet sich wie folgt:

$$\text{Skalierte Distanz} = \frac{\text{Distanz}}{\sqrt{\text{Sprengstoffmenge je Zündstufe}}}$$
$$SD = \frac{D}{\sqrt{L}} = \left[\frac{m}{\sqrt{kg}} \right]$$

Formel 4: Skalierte Distanz (Vgl. Kuzu 2008, S.405)

Für die Analysen in diesem Kapitel werden dieselben Erschütterungsdaten wie auch in der Analysen in Kapitel 7.2 verwendet.

Grundgesamtheit der Erschütterungsmessungen

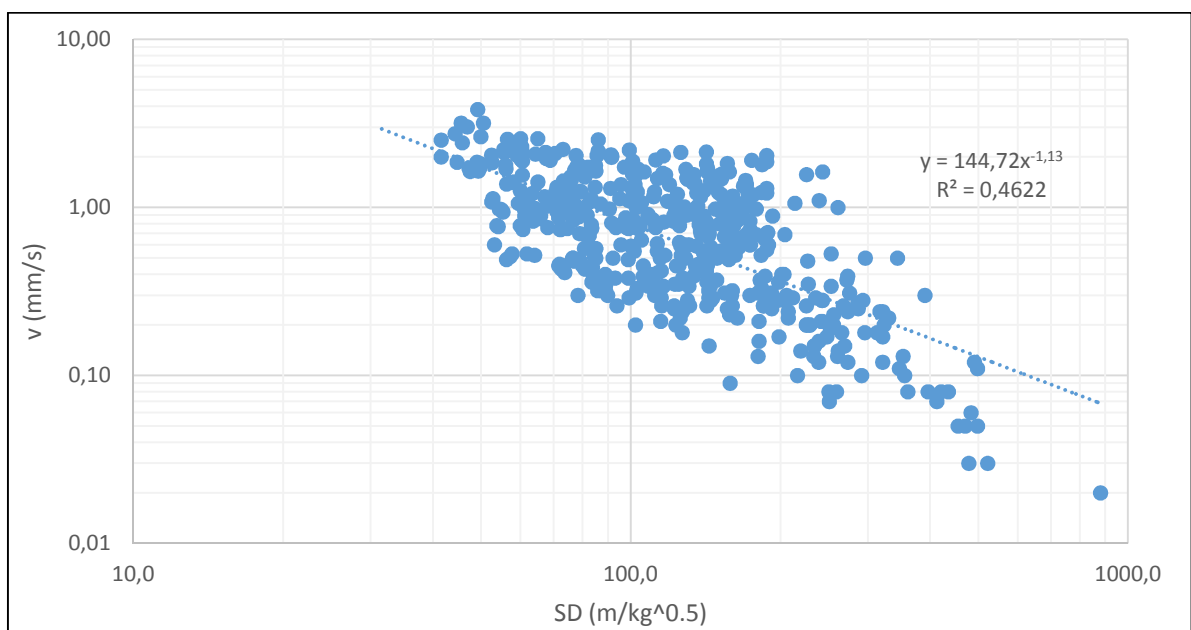


Diagramm 8: Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz (Messwerte aus 2013 und 2014)

Diagramm 8 zeigt die doppellogarithmische Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz. Der Determinationskoeffizient liegt bei 0,4622 und ist mit dem Koeffizienten aus Diagramm 5 vergleichbar. Ähnlich der Darstellung über die Distanz, zeigt auch die Darstellung über die Skalierte Distanz keine Linearisierung, das Bild zeigt sich jedoch ohne große Ausreißer wesentlich geglätteter.

Erschütterungsmessungen verschiedener Messstellen

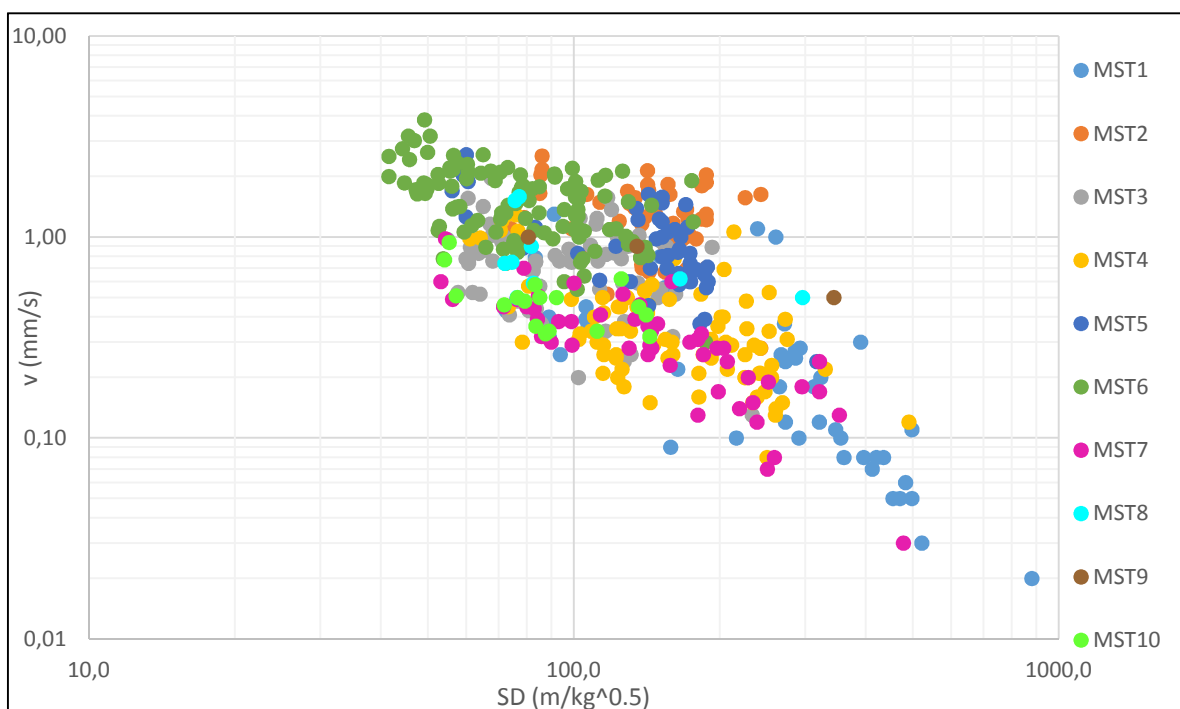
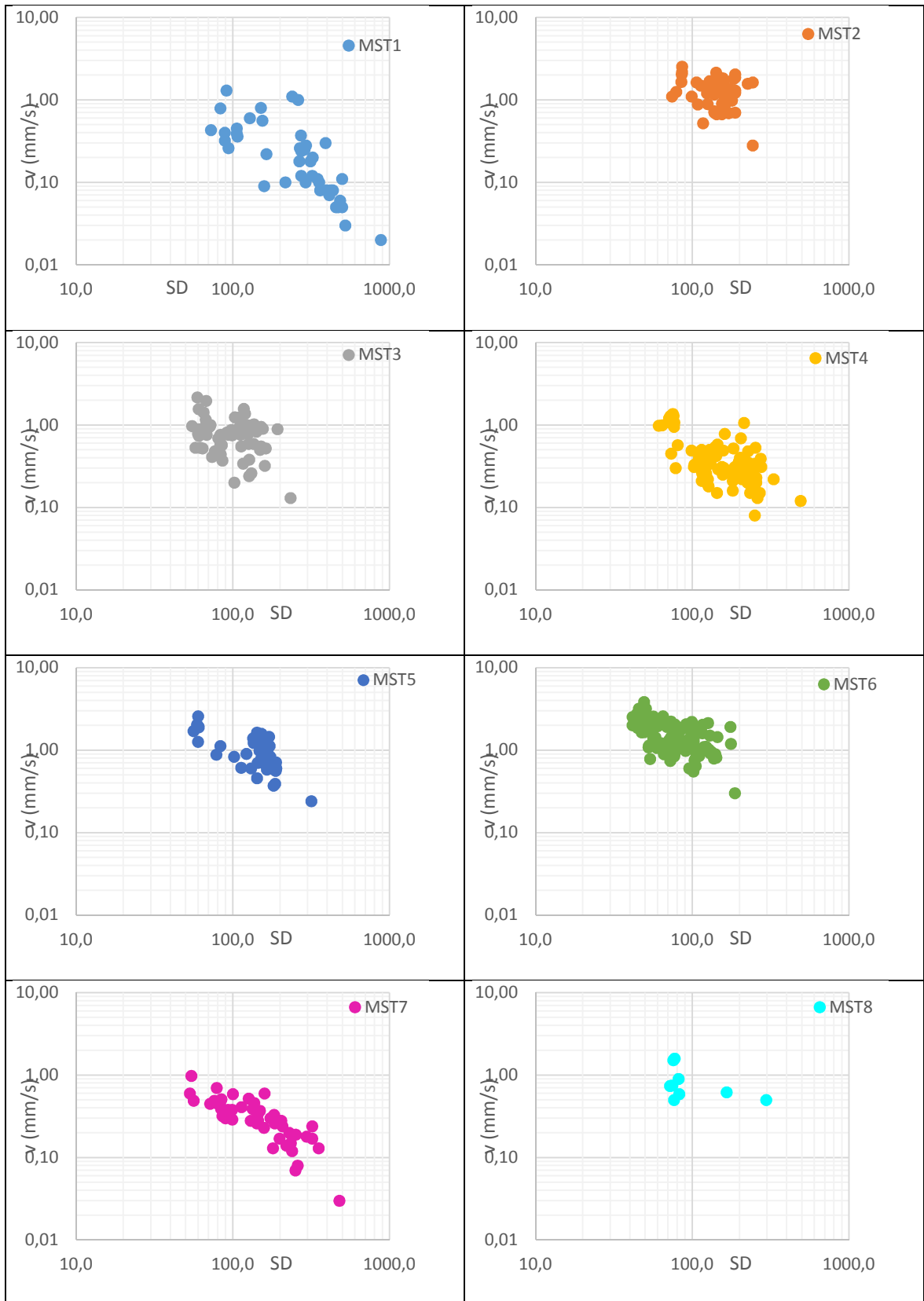


Diagramm 9: Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz mit Darstellung der einzelnen Messstellen

Die Darstellung in Diagramm 9 zeigt, dass die Messstellen auch in dieser Form unterschiedliches Verhalten zeigen, und eine gesamtheitliche Analyse aller Daten nicht möglich ist. Für weitere Untersuchungen sind die unterschiedlichen Messstellen einzeln zu betrachten.

Die nachstehende Tabelle zeigt das Einzelverhalten der Messstellen.



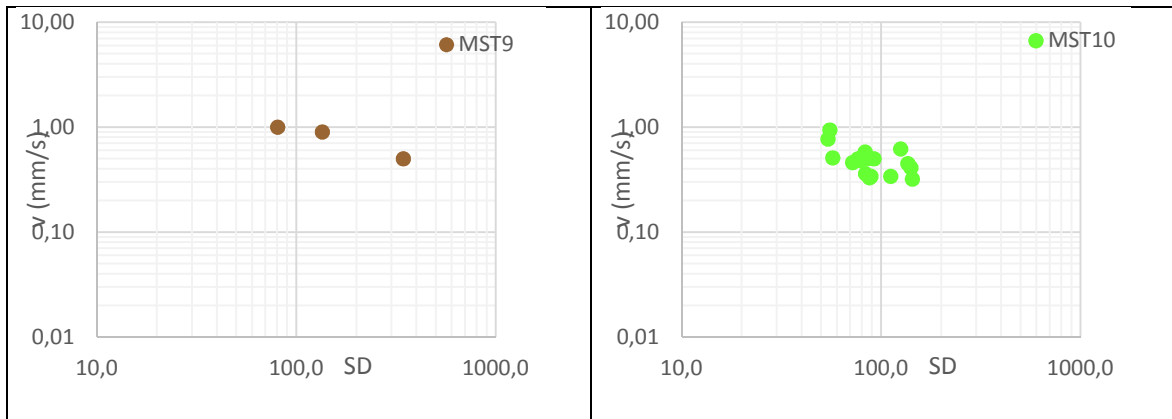


Tabelle 8: Einzeldiagramme der Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz für die Messstellen

Ein Vergleich der Einzeldiagramme der Distanz (Tabelle 6) und der Skalierten Distanz (Tabelle 8) zeigt, dass die Darstellung über die Skalierte Distanz im Wesentlichen geglättet ist.

Die Ausreißer im v-D-Diagramm der MST3 wurden durch die v-SD-Darstellung eliminiert. Die Punktwolken der Messstellen MST5 und MST7 in den v-D-Diagrammen wurde durch den Einsatz der Skalierte Distanz in eine annähernd lineare Darstellung gebracht.

Ogleich der besseren Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über der Skalierten Distanz, zeigt sich keine ausgeprägte Linearisierung der Werte. Daraus ist zu schließen, dass die auftretenden Bedingungen bei den Sprengungen stark variieren und Erschütterungen nicht allein von der Distanz und der maximalen Sprengstoffmenge pro Zündstufe Abhängig sind.

Analog zur Gruppeneinteilung in Kapitel 7.2 wurden auch für diese Darstellung drei Gruppen ähnlichen Verhaltens gebildet.

Allgemeine Gruppeneinteilung auf Basis der Grundgesamtheit

Die Messwerte beider Geräte werden anhand ihrer Lage im Diagramm in drei Verhaltensgruppen eingeteilt.

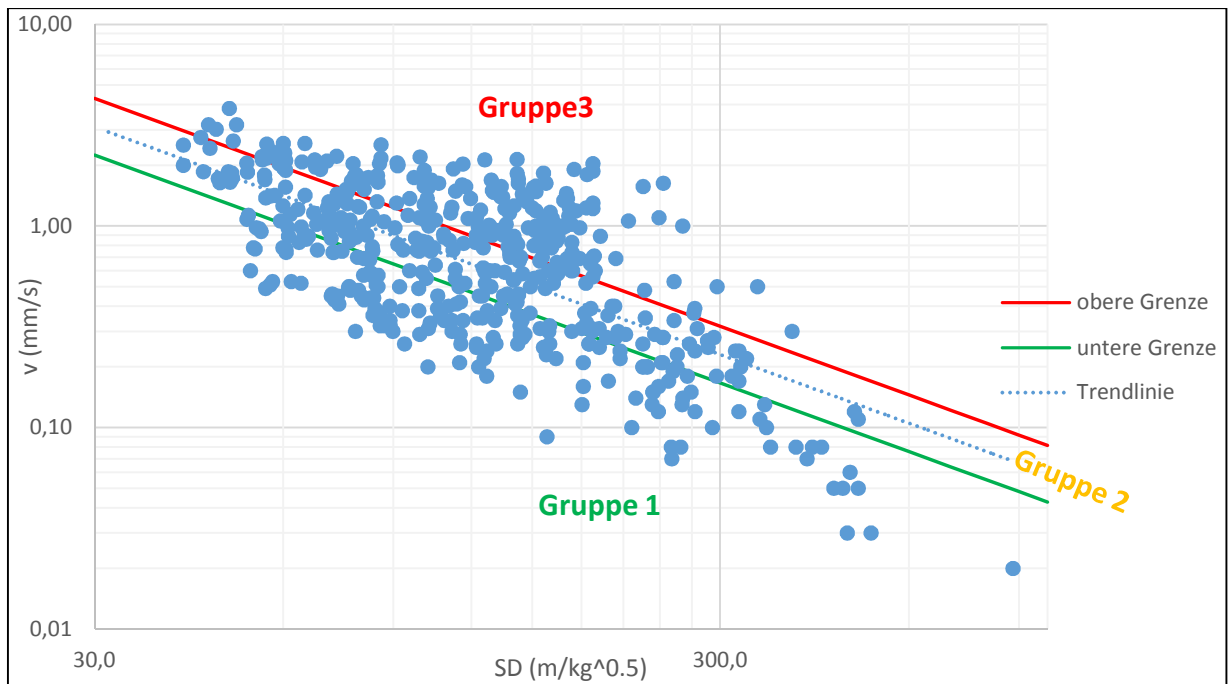


Diagramm 10: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD

Da im vorherigen Kapitel die Vergleichbarkeit der Messdaten beider Geräte nicht bewiesen wurde, werden die Messungen der unterschiedlichen Geräte zusätzlich separat betrachtet und in Gruppen eingeteilt und als spezielle Gruppenbildung bezeichnet.

Spezielle Gruppenbildung

Die folgenden Diagramme zeigen je die Messwerte eines Gerätetyps. Da die GeoSIG-Daten auch sehr tiefe Erschütterungen beinhalten ergibt die Regression eine differente Gleichung der Trendgeraden. Da die Gruppeneinteilung auf Basis dieser Trendlinie geschieht, ist eine andere Verteilung der Gruppen gegenüber der allgemeinen Einteilung zu erwarten.

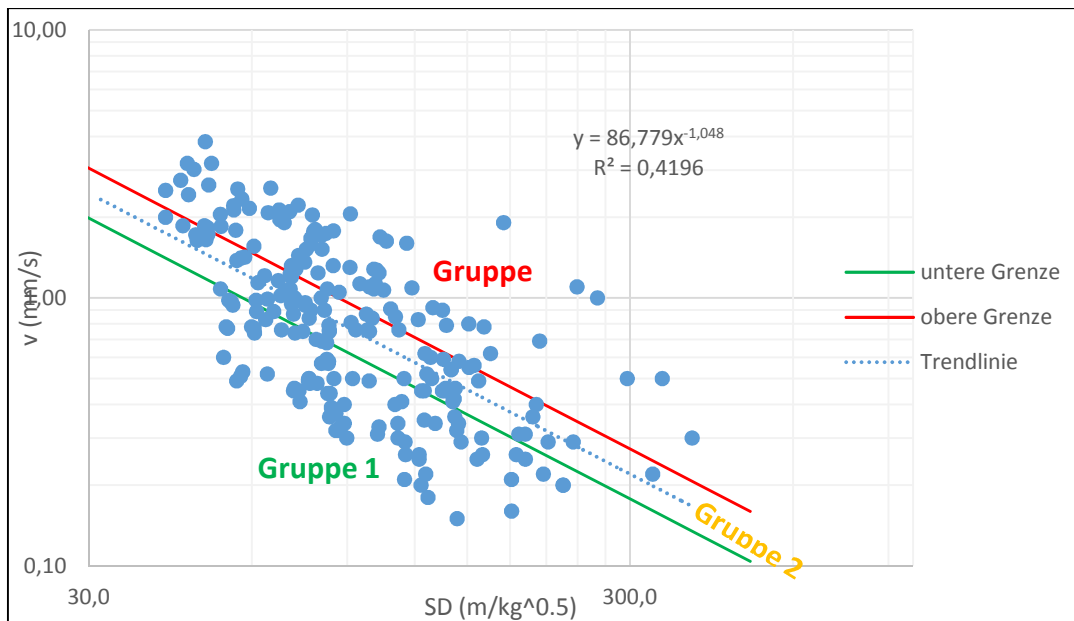


Diagramm 11: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; Walesch-Geräte

Der niedrigste Wert der Schwinggeschwindigkeit in Diagramm 11 liegt bei etwa 0,15mm/s während der niedrigste Messwert der GeoSIG-Geräte bei 0,02mm/s liegt.

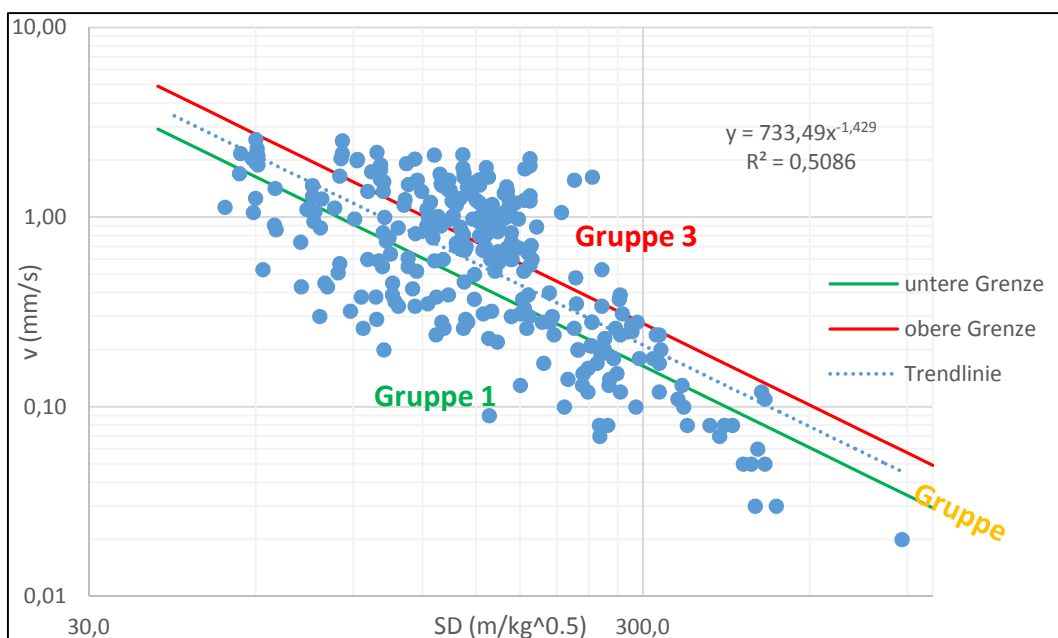


Diagramm 12: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; GeoSIG-Geräte

Im anschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der Gruppeneinteilungen verglichen und ausgewertet.

Tabelle 9 und Tabelle 10 zeigen den Vergleich der gebildeten Gruppen des Erschütterungsverhaltens. Die Tabellen listen alle Sprengungen aus den Jahren 2013 und 2014, an denen Erschütterungen aufgezeichnet wurden, auf. Die Spalten reichen von MST1 bis MST10 und untergliedern sich in Distanz (D), Skalierter Distanz (SD), Schwinggeschwindigkeit (v), Gruppe auf Basis der Distanz, Gruppe auf Basis der Skalierten Distanz – allgemein und Gruppe auf Basis der Skalierten Distanz – speziell. Für eine bessere Darstellung sind den Gruppen Farben zugeordnet. Werte der Gruppe 1 ist die Farbe Grün zugeteilt, um die, relativ geringen Erschütterungen zu unterstreichen. Gruppe 2 wird in Gelb dargestellt, da diese Gruppe den eher neutralen Zwischenbereich angibt. Um die hohen Erschütterungen der Gruppe 3 zu verdeutlichen, werden die Werte mit Rot gekennzeichnet. Die in blau eingetragenen Werte stammen vom Messsystem Walesch und die schwarzen Werte von den GeoSIG-Geräten.

Der erste Blick auf die Färbung der Spalten zeigt ein schlechteres Verhalten der Messstellen MST2, MST5, MST6, MST8 und MST9 gegenüber den Messstellen MST1, MST3, MST4, MST7 und MST10. Dieses schlechtere Verhalten lässt auf einen Unterschied der Dämpfungseigenschaften und/oder der Messwerterfassung schließen. Da ein ähnliches Dämpfungsverhalten des Untergrunds bei gleichem Ausbreitungsweg der Erschütterungswellen zu erwarten ist, wird diesen im nachstehenden Kapitel genauer betrachtet. Um mögliche Unterschiede in der Messwerterfassung auszuschließen, wurden die Messstellen einer kritischen Betrachtung unterzogen, siehe Kapitel 6.1.

Vergleich der Gruppen aus Distanz und Skalierter Distanz

Der Gruppenvergleich aus Distanz und Skalierter Distanz zeigt sich wechselhaft. Es gibt zwar vereinzelt große Unterschiede, zumeist sind sie jedoch gleich oder unterscheiden sich nur um eine Stufe.

Da jedoch die stark variierende Sprengstoffmenge pro Zündstufe (2-90kg) die Erschütterungen maßgeblich beeinflusst, wird eine Gruppeneinteilung auf Basis der Distanz für weitere Untersuchungen ausgeschlossen.

Vergleich der allgemeinen und speziellen Gruppen aus Skalierter Distanz

Die allgemeine Gruppeneinteilung gliedert die Messwerte von Walesch und GeoSIG-Geräten nach derselben Formel, der Trendlinie aller Daten. Für die speziellen Gruppen wurden getrennt für Walesch-Werte und GeoSIG-Werte Trendlinien und somit Gruppenkriterien erstellt. Der Vergleich der allgemeinen und speziellen Gruppen zeigt ein besseres Gruppenergebnis (niedrigere Zahl) aus der allgemeinen Formel für Walesch-Werte und für GeoSIG-Werte aus der speziellen Einteilung. Die GeoSIG-Geräte zeichnen Erschütterungen rund um die Uhr auf, das Walesch-System zeichnet jedoch erst ab einem bestimmten Triggerwert auf. Das heißt, dass der Bereich der sehr niedrigen Erschütterungen von Walesch-Geräten fehlt, es für das GeoSIG-System hingegen keine Untergrenze gibt. Demzufolge werden ungeachtet der Vergleichbarkeit der Messungen für beide Gerätetypen unterschiedliche Trendlinien erstellt, wie Diagramm 11 und Diagramm 12 zeigen. Während die Regressionsgerade aus den Walesch-Daten etwas flacher und tiefer liegt, besitzt die Trendlinienformel aus GeoSIG-Daten eine größere Steigung und liegt weiter vom Ursprung entfernt. Da durch diese Erkenntnis die Vergleichbarkeit der Messwerte aus Walesch und GeoSIG-Geräten abermals in Frage gestellt wird, werden für weitere Betrachtungen nur Erschütterungen von GeoSIG-Geräten verwendet. Ein weiterer Punkt der dafür spricht, ist die Tatsache, dass die Aufstellungen der alten Geräte nicht mehr besichtigt, und somit keiner kritischen Betrachtung unterzogen werden können. Auch zeigt sich ein breiteres Spektrum der Messwerte von GeoSIG, was der Erstellung eines Trends zugutekommt.

Gruppenverteilung für weitere Analysen

Für weiterführende Untersuchungen werden die vorhandenen Messwerte von GeoSIG-Geräten, eingeteilt in Gruppen auf Basis der Skalierten Distanz, verwendet. Da zum jetzigen Zeitpunkt fünf weitere Sprengungen stattgefunden

haben, wird die Datenmenge aktualisiert und die Gruppeneinteilung erneut vorgenommen.

Diagramm 13 zeigt alle Messwerte in einer doppellogarithmischen Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über der Skalierten Distanz, die dafür erstellte Trendlinie inklusive Formel und Determinationskoeffizient, und den Grenzen zur Gruppeneinteilung.

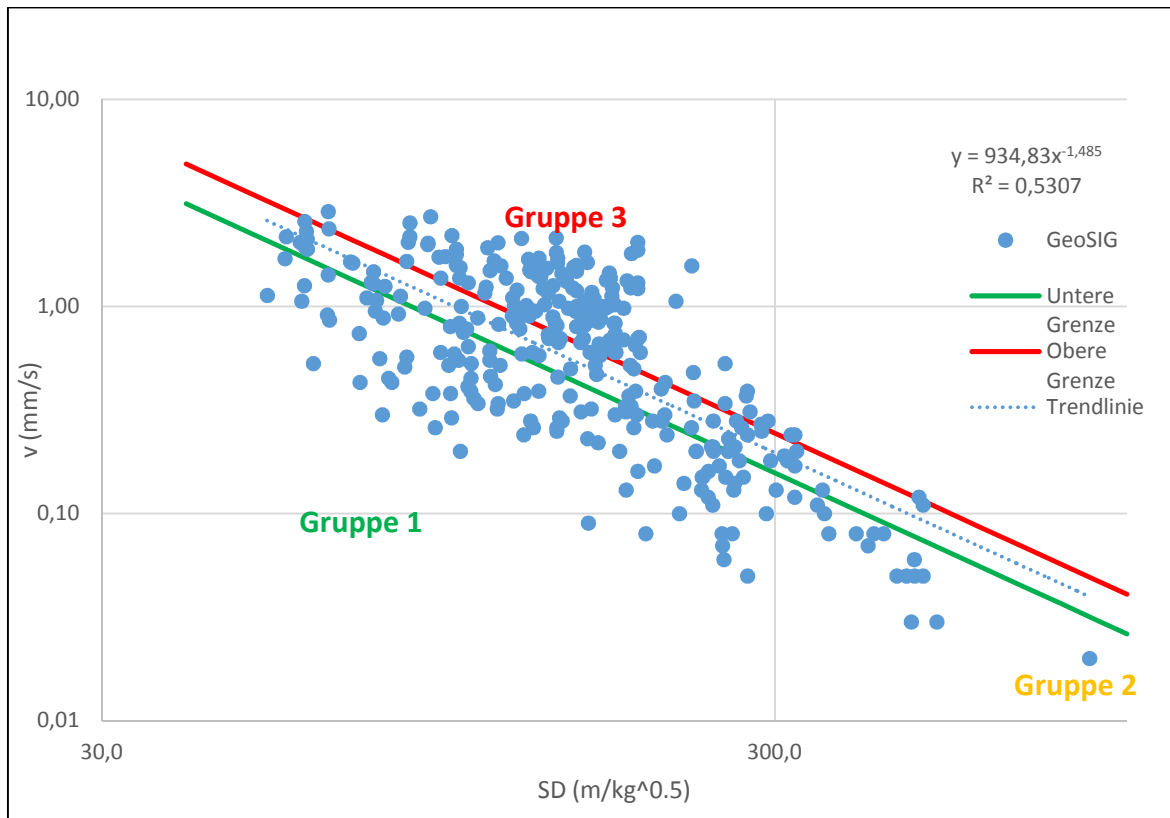


Diagramm 13: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; GeoSIG-Geräte, Stand 27.06.2014

Der Vergleich von Formel und Determinationskoeffizient der erstellten Trendlinien in Tabelle 11 zeigt, dass die aktualisierte Darstellung der GeoSIG-Messwerte die beste Linearisierung ergibt. Zwar ist der Wert des Koeffizienten mit 0,5307 nicht sehr groß, im Vergleich der restlichen jedoch der beste. Der Unterschied der beiden Formeln für Walesch und GeoSIG- Werte aus ersten Analysen stimmt mit der Annahme überein, dass sich die beiden Datenmengen, und somit die Messgeräte unterschiedlich verhalten.

	FORMEL	DETERMINATIONS- KOEFFIZIENT
V – D (DIAGRAMM 5)	$y = 3699,7x^{-1,407}$	$R^2 = 0,4063$
V – SD ALLGEMEIN (DIAGRAMM 8)	$y = 144,72x^{-1,13}$	$R^2 = 0,4622$
V – SD SPEZIELL WALESCH (DIAGRAMM 11)	$y = 86,779x^{-1,048}$	$R^2 = 0,4196$
V – SD SPEZIELL GEOSIG (DIAGRAMM 12)	$y = 733,49x^{-1,429}$	$R^2 = 0,5086$
V – SD SPEZIELL GEOSIG STAND 27.06.2014 (DIAGRAMM 13)	$y = 934,83x^{-1,485}$	$R^2 = 0,5307$

Tabelle 11: Vergleich von Formel und Determinationskoeffizient verschiedener Trendlinien

Die Gruppenzuordnung der GeoSIG-Daten hat folgendes Bild ergeben:

Aus Tabelle 12 kann folgendes gelesen werden:

- Die Messstellen MST1 und MST7 kennzeichnen sich durch ihre grüne Färbung und messen Großteils Erschütterungen der Gruppe 1. Messungen dieser Messstellen ergeben Erschütterungen, welche relativ gesehen niedriger sind als andere und werden als gesamte Messstellen Gruppe 1 zugeordnet.
- Erschütterungen, welche an den Messstellen MST2, MST5 und MST6 gemessen werden sind überwiegend schlechteren Gruppen zuzuordnen. An diesen Orten werden überdurchschnittlich hohe Erschütterungen gemessen. Diese Messstellen können generell Gruppe 3 zugeordnet werden.
- Für die MST3 und MST4 zeigt sich ein gemischtes Bild.

Generell hat sich ein sehr wechselhaftes Bild ergeben. Die meisten Sprengungen führen zu einer Bandbreite von allen drei Gruppen. Die grün und rot markierten Datumszeilen in Tabelle 12 kennzeichnen durchwegs erschütterungsarme (grün) und durchwegs erschütterungsreiche (rot) Sprengungen, an denen sich dieser Charakter in jeder Messstelle wiederfindet.

Zu Beginn der vorherigen Kapitel wurde festgestellt, dass der Zusammenhang der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz bzw. Skalierten Distanz nicht eindeutig genug gegeben ist, und deshalb keine Prognose aus diesen Daten erfolgen kann. Eine genauere Betrachtung hat weiter gezeigt, dass sich sogar die einzelnen Messstellen durch kein ausgeprägtes Verhalten kennzeichnen. Ohne eine Linearisierung der Daten kann auch für jede Messstelle separat keine Formel für eine Vorhersage entstehen. Die Gruppeneinteilung spiegelt die Abweichung der Linearisierung wider, nur die Werte der Gruppe 2 liegen am Trend. Da der Anteil der Daten in Gruppe sehr gering ist, muss die Abweichung vom Trend untersucht werden. Im kommenden Kapitel wird nach einer Erklärung der Gruppeneinteilung durch unterschiedliche Analyseschritte gesucht. Es gilt herauszufinden, was gleiche Gruppen gemeinsam haben bzw. warum sich gleiche Sprengungen als unterschiedliche Gruppen äußern.

7.5 Analyse der Ausbreitungswege

Da der Einfluss der Distanz und eingesetzten Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe, welche der Stärke der Energiequelle entspricht bereits über die Skalierte Distanz berücksichtigt sind, wird im nächsten Schritt das unterschiedliche Ausbreitungsverhalten betrachtet. Um die geologischen Verhältnisse und die damit verbundene Ausbreitungscharakteristik zwischen dem Sprengort und der Messstelle zu untersuchen, werden in diesem Kapitel die Ausbreitungswege der Sprengerschütterungen genauer betrachtet.

7.5.1 Unterschiedliches Verhalten der Messstellen

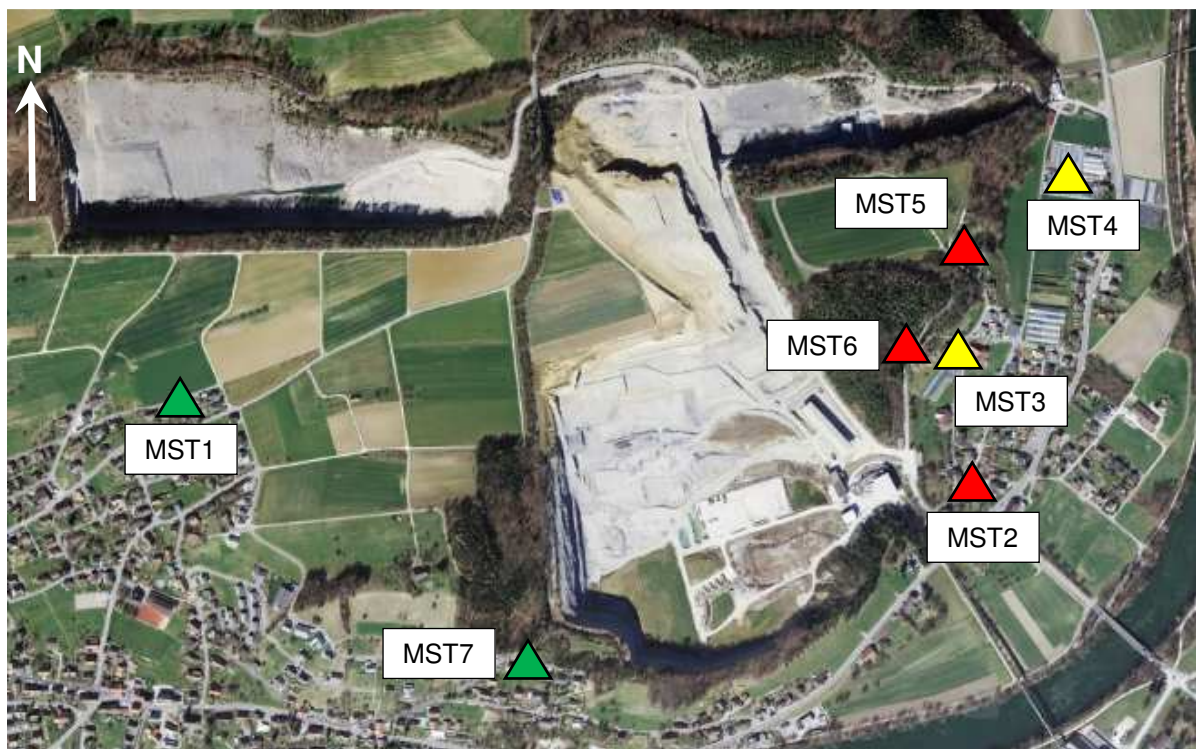


Abbildung 8: Standorte der erschütterungsarmen, erschütterungsreichen und wechselhaften Messstellen

In diesem Kapitel wird das auffallend unterschiedliche Verhalten der Messstellen bei gleichen Sprengungen genauer beleuchtet. Im vorherigen Kapitel wurde herausgefunden, dass die Messstellen MST1 und MST7 wesentlich geringere Erschütterungen zeigen als die Trendlinie prognostizieren würde. Die Messstellen MST2, MST5 und MST6 zeichnen hingegen überdurchschnittliche Erschütterungen auf. Für die Standorte MST3 und MST4 variiert diese Einteilung stark.

Um Ursachen dieses unterschiedlichen Verhaltens der Messstellen herauszufinden, wurde nach differenten Eigenschaften der Standorte gesucht. Folgende Punkte haben sich als unterschiedlich herausgestellt:

- Himmelsrichtung:
MST1 und MST7 liegen westlich einer imaginären Nord-Süd-Achse des Steinbruchs, alle restlichen östlich. Es stellt sich die Frage, ob diese Bereiche tatsächlich durch stark unterschiedliche Ausbreitungscharakteristika des Untergrundes ausgezeichnet sind.
- Lage relativ zur Abbaurichtung:
Der Abbau bewegt sich in Richtung NNW und WSW. Mit einzelnen Ausnahmen wird in Richtung SSO und ONO (vereinfacht als S und O bezeichnet) gesprengt. Bei Sprengungen in Richtung Osten liegen MST1 und MST7 generell hinter der Bruchwand, die restlichen Messstellen vor der Bruchwand, was der gegebenen Einteilung entspricht. Bei Sprengungen in Richtung Süden, welche derzeit nur im oberen Bereich des Jakobsbergs vorkommen, liegen MST1, MST4 und MST5 hinter der Bruchwand. Laut den vorherigen Analysen haben diese Messstellen allerdings nichts gemein.
- Seehöhe:
Der aktuelle Abbau 2014 erstreckt sich über eine Seehöhe von 360m ü. M bis 415m ü. M., welche allerdings nicht genauer dokumentiert wird. Die Messgeräte befinden sich auf folgenden Höhenlagen:

MESSSTELLE	SEEHÖHE (M)
MST1	405
MST2	350
MST3	365
MST4	350
MST5	380
MST6	370
MST7	400

Tabelle 13: Seehöhe der Messstellen

Die höhere Lage der MST1 und MST7 könnte einen Einfluss auf die niedrigeren Erschütterungen haben. Nach dieser Logik müssten die erschütterungsreichen Messstellen am niedrigsten liegen, was hier nicht der Fall ist. Da die Theorie, dass die Seehöhe der Messstelle einen signifikanten Einfluss hat nicht bewiesen werden kann, wird sie nicht weiter verfolgt.

- Zündrichtung:

Um geringere Erschütterungsemissionen in bewohntem Gebiet zu verursachen, wird meistens in entgegengesetzter Richtung zu den nächsten Anrainern gezündet. Bei Sprengungen im Bereich Jakobsberg und Sprengrichtung nach Süden wird deshalb von Osten nach Westen gezündet. Sprengungen in Richtung Osten in diesem Bereich werden von Süden nach Norden gezündet. Dies bedeutet, dass die Freiheitsgrade im Jakobsberg meistens in Richtung Süden und Osten oder Osten und Süden sind. Bei ersteren wird demzufolge in Richtung MST1 und MST7 gezündet, was nach dieser These zu niedrigeren Erschütterungen führen würde.

- Distanz der Messstelle zum Sprengort:

Obwohl die Distanz durch die Gruppeneinteilung auf Basis der Skalierten Distanz bereits berücksichtigt ist, stellt sich heraus, dass eine erschütterungsarme Messstelle, MST1, am weitesten entfernt liegt und die nächste Messstelle, MST6, erschütterungsreiches Verhalten zeigt. Die übliche Literatur nimmt an, dass die Erschütterungen logarithmisch abnehmen. Die Tatsache, dass Messstellen in größerer Entfernung

dennoch niedrigere Werte messen stellt die Frage in den Raum, ob die Bodenwellen nicht mit einem größeren Faktor zur Distanz abnehmen.

MESSSTELLE	MIN (M)	MAX (M)	MITTELWERT (M)
MST1	585	1037	914
MST2	286	944	487
MST3	264	824	408
MST4	516	989	645
MST5	311	821	450
MST6	207	770	363
MST7	423	867	616

Tabelle 14: Distanz der Messstellen vom Sprengort

- Geologie am Standort:
 Aus einer geologischen Karte der Schweizerischen Eidgenossenschaft kann man folgende Informationen gewinnen. Der Untergrund der Messstellen MST1, MST3 und MST7 ist Fels, der Messstellen MST2, MST4 und MST5 Lockermaterial und MST6 steht auf künstlich aufgefülltem Boden. In den fünfziger und siebziger Jahren wurde der Kalkstein in diesem Bereich abgebaut, anschließend aufgefüllt und rekultiviert. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Messstellen MST3 und MST6 mit einer Distanz von zirka 60m sehr nahe beieinander liegen, aber dennoch unterschiedliche Verhalten an den Tag legen. MST 6 misst tendenziell höhere Erschütterungen und befindet sich auf aufgefülltem Untergrund. Als Auffüllungsmaterial wurde vermutlich Moräne aus dem Steinbruch verwendet. Am Schichtübergang zwischen MST6 und MST3 könnten die Bodenwellen stärker gedämpft werden, und dadurch zu einem besseren Gruppenergebnis der Messwerte an Messstelle MST3 führen.

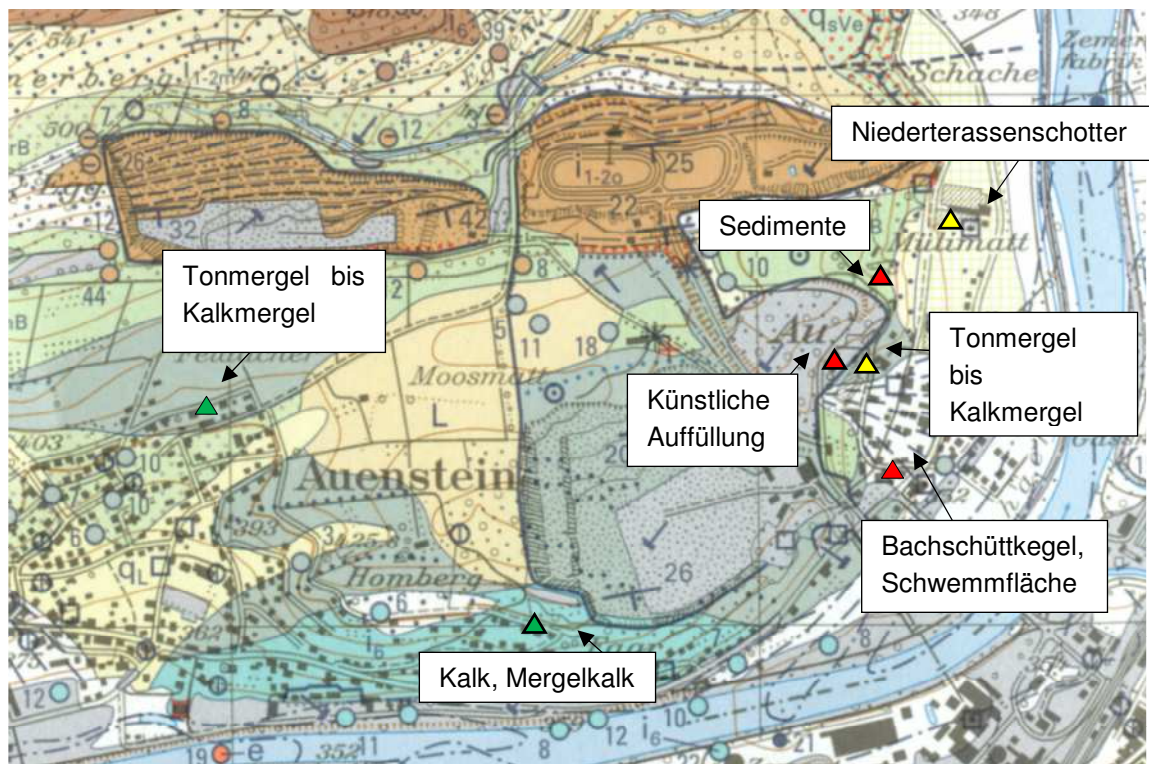


Abbildung 9: Geologische Aufnahme (Vgl. Jordan 2011)

Durch die Anwendung jeder dieser Behauptungen lassen sich die unterschiedlichen Gruppen zumindest mit einer erklären, während viele jedoch durch andere wieder widerlegt werden oder keiner Logik folgen. Ein weiterer Punkt ist, dass die Aufstellung der Messgeräte zwar dem Stand der Technik entspricht, aber keinesfalls ident ist. Das unterschiedliche Verhalten der Messstellen hat vermutlich eine Vielzahl an Gründen die sich gegenseitig beeinflussen und durch einfache Analysearbeit nicht definiert werden können.

7.5.2 Erschütterungsarme und erschütterungsreiche Sprengungen

In diesem Kapitel werden die Ausbreitungswege der einer Gruppe zuordenbaren Sprengungen genau betrachtet. Aus Tabelle 12 ergeben sich acht Sprengungen die im gesamten einer Gruppe zugeordnet werden können. Es handelt sich um drei Sprengungen mit schlechtem Gruppenergebnis, sind daher erschütterungsreicher als die fünf Sprengungen mit verhältnismäßig gutem Gruppenergebnis. Für eine einfachere Nomenklatur werden diese drei roten Sprengungen als „erschütterungsreiche Sprengungen“ und die fünf grünen als „erschütterungsarme Sprengungen“ bezeichnet.

Diese erschütterungsarmen Sprengungen wurden generell grösser als die erschütterungsreichen ausgeführt. Mehr Sprengstoff, höhere Bruchwände usw. führten zu einer größeren Kubatur. Dies entspricht dem Gegensatz dessen, was der Hintergrund klein ausgeführten Sprengungen ist. Im Steinbruch werden Kleinsprengungen in anrainernahen Gebieten eingesetzt, um die Erschütterungen gering zu halten. Da diese Sprengungen nicht die einzigen ihrer Art waren, kann man die Geometrie hier nicht direkt in Verbindung bringen.

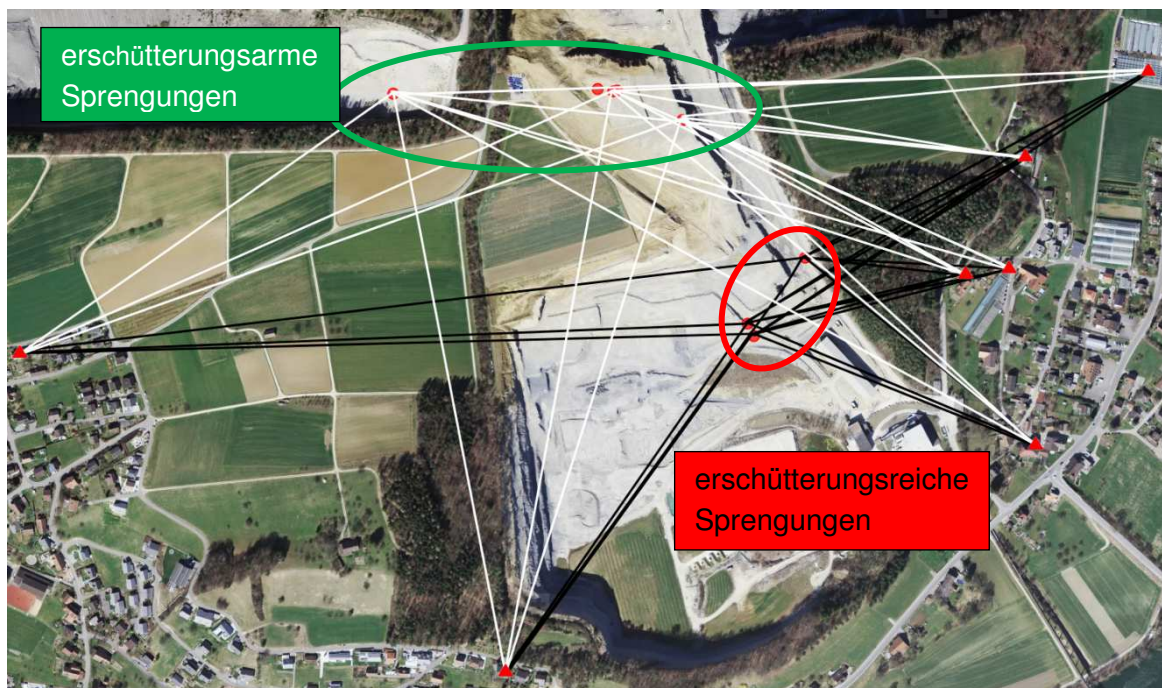


Abbildung 10: Ausbreitungswege der erschütterungsreichen und erschütterungsarmen Sprengungen

Abbildung 10 zeigt die erschütterungsarmen Sprengungen mit den Ausbreitungswegen in Weiß und die Ausbreitungswege der erschütterungsreichen Sprengungen sind in schwarz gehalten. Zu sehen sind rote Kreise, die der Koordinaten der Sprengung entsprechen. Die Ausbreitungswege der erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen zeigen keine signifikanten Unterschiede, sie überschneiden sich sogar teilweise. Dies bedeutet, dass auf dem gleichen Ausbreitungsweg verhältnismäßig hohe und niedrige Erschütterungen transportiert werden. Daraus folgt die Erkenntnis, dass die Erschütterungen nicht alleine von Skalierter Distanz und Ausbreitungsweg abhängig sind, und auf deren Basis nicht vorhergesagt werden können.

Auffällig ist hier allerdings, dass die erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen geografisch getrennt sind. Die erschütterungsreichen befinden sich im östlichen Teil des Jakobsberges auf geringerer Seehöhe als die erschütterungsarmen in den Bereichen Mammut und Oberegg. Die Einteilung der Abbaustellen folgt im nächsten Kapitel.

7.5.3 Analyse unterschiedlicher Abbaustellen

Die untersuchten Sprengungen aus dem Jahr 2014 werden in Bereiche eingeteilt. Sprengungen eines Bereichs klassifizieren sich durch ähnliche Sprengparameter und sind häufig Sprengungen einer sich fortbewegenden Bruchwand. Abbildung 11 zeigt die Gruppierung der Sprengungen anhand ihrer Position inklusiver der im Betrieb üblichen Namen der verschiedenen Abbaustellen.

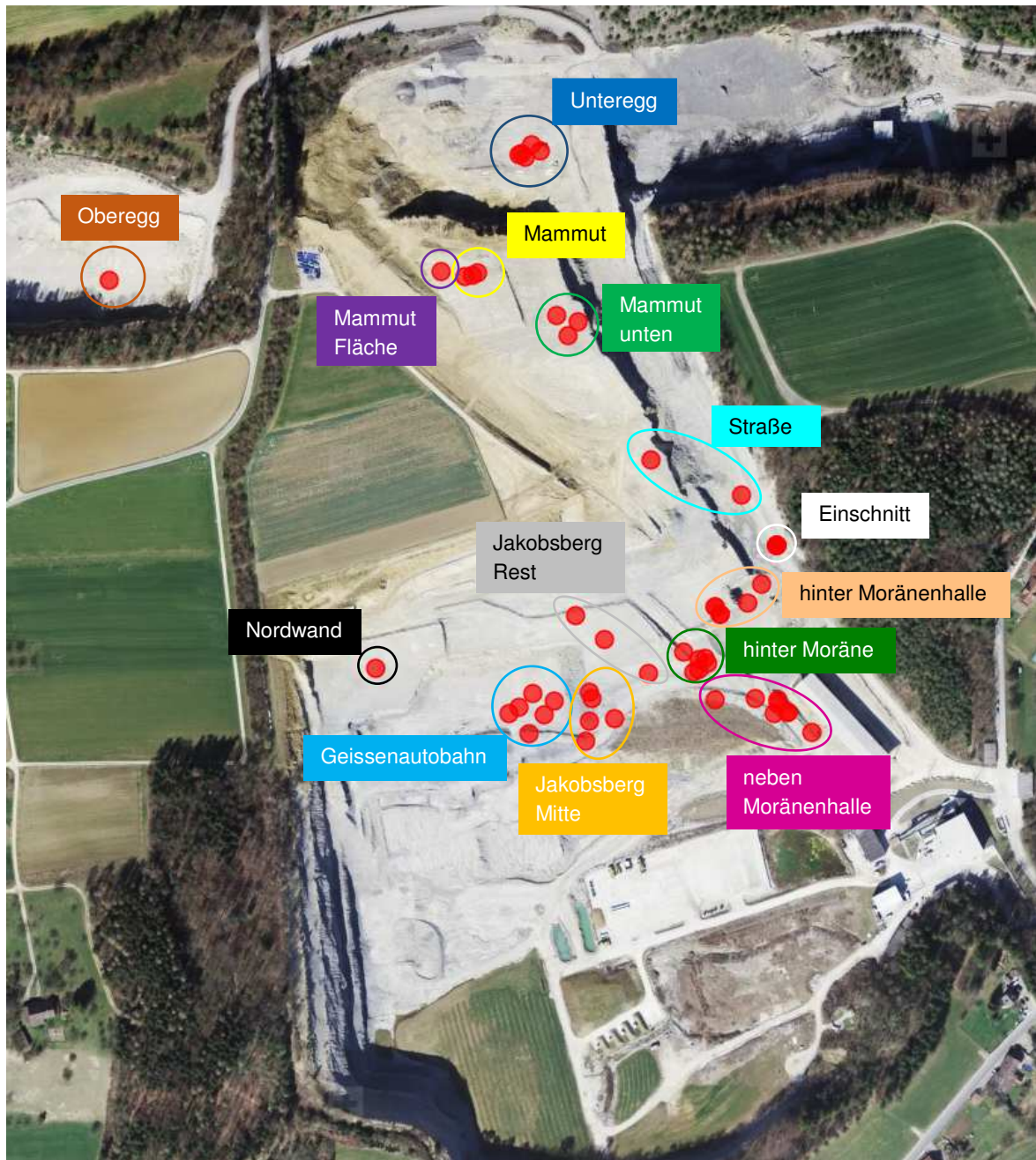


Abbildung 11: Einteilung der Sprengungen in Bereiche

In diesem Kapitel werden die Abbaustellen genau betrachtet, um herauszufinden, ob eine bestimmte Abbaugeometrie an einem definierten Ort ein eindeutiges Verhalten zeigt. Da das unterschiedliche Ausbreitungsverhalten als relevant angesehen wird, sind nur diejenigen Wellen, welche demselben Weg folgen gleichen Bedingungen ausgesetzt. Zu jeder Messstelle werden verschiedene Ausbreitungswege gebildet, deren Sprengungen verglichen werden können. In Abbildung 12 sind beispielhaft die Ausbreitungswege 2.1 und 2.2 zur Messstelle

MST2 zu sehen. Obwohl Erschütterungen der Sprengungen (rote Kreise) entlang eines Weges zur Messstelle (rotes Dreieck) dieselben Ausbreitungsbedingungen haben, fallen diese in unterschiedliche Verhaltensgruppen. Die folgende Analyse soll klären, ob dies an unterschiedlichen Abbaustellen liegt.



Abbildung 12: Ausbreitungswege 2.1 und 2.2 der MST2

Tabelle 15 fasst die Gruppenzugehörigkeit der Abbaustellen zusammen. Die erste Zeile des jeweiligen horizontalen Abschnittes der Messstellen zeigt das Ergebnis der Gruppenbildung aus Kapitel 7.4. 1 bedeutet relativ geringe Erschütterungen auf Basis der Skalierte Distanz, 3 verhältnismäßig hohe und 2 ist der Übergangsbereich. Durch Beistrich getrennte Zahlen sind Aufzählungen mehrerer Gruppen.

Bodenerschütterungen werden je nach ihrem Ausbreitungsweg unterschiedlich weitergeleitet und abgeschwächt, weshalb nur Sprengungen mit demselben Ausbreitungsweg der Wellen verglichen werden können. Die zweite bzw. zweite und dritte Zeile im Abschnitt steht für einen dieser Ausbreitungswege. Für Zellen welche mit einem * versehen sind, sind keine Daten verfügbar oder diese Abbaustelle ist im betrachteten Ausbreitungsweg nicht vertreten. In den Zeilen der Ausbreitungswege werden relative Beurteilungen der Abbaustellen abgegeben. Abbaubereiche, welche sich durch besseres Gruppenergebnis als andere Bereiche im gleichen Ausbreitungsweg auszeichnen, wird eine 1 zugeschrieben,

Abbaustellen mit schlechterem Ergebnis eine 3. Leere Zellen bedeuten eine Zugehörigkeit zum Ausbreitungsweg, allerdings keinem eindeutigen Verhalten. Die letzte Zeile im Abschnitt fasst die vorhergehenden zusammen und bewertet jede Abbaustelle in Bezug auf jede Messstelle. Ein + kennzeichnet die Bereiche, die zu geringeren Erschütterungen an der Messstelle, im Vergleich zu allen anderen oder all jenen mit vergleichbarem Ausbreitungsweg, geführt haben. Das – stellt Abbaustellen mit höheren Erschütterungen dar. Für die freien Felder kann keine handfeste Aussage getroffen werden. Die Beurteilung bezieht sich auch auf die Gruppeneinteilung der Messstellen, in der MST1 und MST7 Gruppe 1 zugeordnet sind und MST2, MST5 und MST6 Gruppe 3 angehören.

MST	Ausbreitungsweg	Einschnitt	Geissenaubahn	hinter Moräne	hinter Moränenhalle	Jakobsberg Mitte	Jakobsberg Rest	Mammut	Mammut Fläche	Mammut Mitte	neben Moränenhalle	Nordwand	Oberegg	Straße	Unteregg
1		1,2	1,2,3	1,2	1	3	3	1	1	1	1	*	1	1	1
	1.1				1		3	*	*	*	1	*	*	*	*
					+	-	-	+	+	+	+		+	+	+
2		3	3	3	3	3	3	1,2	1	2,3	2,3	3	1	3	3
	2.1	3	*	*	*	*	*	1	1		*	*	*	3	*
	2.2	*	*	3	*	*	3	*	*	*		*	*	*	*
		-	-	-	-	-	-	+	+			-	+	-	-
3		3	1,2,3	2,3	2,3	*	3	1	1	1	1,2,3	*	1	2,3	1,2
	3.1	*	*	*	*	*	*	1	1	1	*	*	1		1
	3.2	*		3	*	*	3	*	*	*	1	*	*	*	*
		-		-				+	+	+	+		+		+
4		3	1,2	2,3	2,3	*	2	1	1	1	1,2,3	*	1	3	1,2
	4.1	3	1	3	3	*		*	*	*	1	*	*	*	*
	4.2	*	*	*	*	*	*	1	1	1	*	*	1	*	
		-	+	-	-			+	+	+	+		+		
5		3	2,3	3	3	2,3	1,2,3	1,2	1	1,2	3	2	2	2,3	2,3
	5.1	*	*	*	*	*	*	1	1	1	*	*		*	*
	5.2	3		3	3	3	1-3	*	*	*	*	1	*	*	*
		-		-	-	-		+	+	+	-	+	+		
6		3	3	3	3	3	3	1,2	1	1,2	1,2,3	*	1	3	1,2,3
	6.1	*	*	*	*	*	*		1		*	*	1	*	

	6.2	*	3	3	*	3	*	*	*	*		*	*	*	*
		-	-	-	-	-	-	+	+	+			+	-	
7		2,3	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	1	1	*	1	1,2	1
	7.1	3	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7.2	*		*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
		-				+	+	+	+	+	+		+		+

Tabelle 15: Gruppenzugehörigkeit von Abbaubereichen und Ausbreitungswegen

Für einige Abbaustellen ist ein einheitliches Bild der Beurteilung zu finden. Sprengungen aus den Bereichen „Einschnitt“ und „hinter Moräne“ (roter Rahmen) führen zu wesentlich höheren Erschütterungen als Sprengungen an den Abbaustellen „Mammut“, „Mammut Fläche“, „Mammut Mitte“ und „Oberegg“ (grüner Rahmen). Dieses Ergebnis deckt sich mit den erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen aus Kapitel 7.5.2 und spiegelt die geografische Trennung der Abbaustellen wieder. Ein Grund dieser geografischen Trennung kann in der unterschiedlichen Geologie, der höheren Lage der erschütterungsarmen Abbaustellen oder ähnlichem liegen. Die höhere Lage bedeutet in diesem Fall weniger Überlagerung des Gebirges, weshalb dieses stärker verwittert ist und eine geringere Festigkeit aufweist. Da die Geologie und Höhenlage allerdings nicht beeinflusst werden können, wird nachstehend nach einer Erklärung in den Sprengparametern gesucht.

Die charakteristischen Sprengparameter der verschiedenen Abbaustellen sind in Tabelle 16 aufgelistet und entsprechen den Minimal- und Maximalwerten der folgenden Punkte:

- 1) Anzahl der Bohrlöcher [-]
- 2) Bohrlochlänge [m]
- 3) Unterbohrung [m]
- 4) Reihenanzahl [-]
- 5) Vorgabe [m]
- 6) Seitenabstand [m]
- 7) Maximale Sprengstoffmenge pro Zündstufe [kg]
- 8) geteilte Ladesäule [ja/nein]
- 9) Typ des Zünders [Iskra SH/P / Exel Handidet]

- 10) Oberflächenverzögerung [ms]
- 11) Sprengschnur für gesamten Abschlag [m]
- 12) Kubatur [m³]
- 13) spezifische Lademenge [g/m³]
- 14) Bodenverhältnisse [trocken/nass]
- 15) Sprengrichtung [Norden/Westen/Süden/Osten]

	Einschnitt	Geissenaubahn	hinter Moräne	hinter Moränenhalle	Jakobsberg Mitte	Jakobsberg Rest	Mammut	Mammut Fläche	Mammut Mitte	neben Moränenhalle	Nordwand	Oberegg	Straße	Unteregg
1)	5-48	24-94	38-81	22-77	30-47	21-93	26-27	100	26-48	5-36	27	20	84-104	42-44
2)	3,0	6,0-6,2	5,0-6,2	3,0-3,8	5,5-6,0	6,0-6,5	19,0-20,4	4,0	7,0-10,5	2,5-5,2	13,5-14,4	15,1-15,3	3,0-4,0	3,0-32,5
3)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0-0,5	1,0	0,5	0,5-1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
4)	1-3	2-4	2-8	2-7	2	2-3	1	8	2-4	1-4	1	1	4	1
5)	2,5	2,8	2,8	2,5-2,7	2,8	2,8	4,0	3,0	3,5-3,6	2,5-2,8	3,7	4,1	2,5-3,0	4,0
6)	2,5	2,8	2,8	2,5-2,7	2,8	2,8	3,3-4,5	3,5	3,4-3,7	2,5-2,8	3,3-4,0	3,5	2,5-3,2	2,8-3,5
7)	4,2	7,9-9,4	7,5-9,0	4,2-5,2	7,5-9,0	9,0-11,5	52,0-90,0	9,0	17,0-32,5	1,4-7,0	20,0	65,0	3,6-10,0	4,5-75
8)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	j	n	n	n/j
9)	Exel	Exel	Exel	Iskra-Exel	Iskra-Exel	Iskra-Exel	Exel	Exel	Exel	Exel	Exel	Exel	Exel	Exel
10)	17, 25	25, 42, 67	25, 67	25, 67	25	25, 67	25	17, 25	17, 25	25	25	25	25	25
11)	0	0	0-10	0	0	0	40-100	0	0	0	0	10	0	0-560
12)	93-680	1145-4224	1632-3080	490-1180	1294-2184	1092-4384	6600-6956	3900	3100-6100	154-1156	4700	4180	1440-3840	13500-13800
13)	224-294	173-208	170-205	215-254	169-195	112-236	270-322	229	200-261	89-191	238	299	212-276	280-323
14)	n	t	t/n	t/n	t	t	t/n	n	t/n	t/n	n	t	n	t/n
15)	*	S/O	S	S/?	S	S	O	O	O	S/?	S	W	O/W	O

Tabelle 16: Sprengparameter der in Bereiche eingeteilten Abbaustellen

Hervorstechende Unterschiede in den Sprengparametern der erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen sind in Tabelle 16 nicht zu sehen. Es gibt jedoch einige Parameter die in diesen zwei Parteien

durchaus andere Größenordnungen einnehmen. Die erschütterungsarmen (grünen) Abbaustellen differenzieren sich laut Protokollen wie folgt:

- Verwendung einer Unterbohrung
- mehr Vorgabe
- mehr Seitenabstand
- weniger Kubatur
- Sprengrichtung Richtung Osten oder Westen

Da die Varianz der erfassten Parameter auf den Protokollen groß ist, und deren Richtigkeit nicht 100%-ig nachgewiesen werden kann, kann hier allerdings keine definitive Aussage über deren Einfluss getroffen werden.

An der Abbaustellen „Mammut Fläche“ wird das gesprengte Gebirge nicht mit Radlader auf SLKW geladen, sondern mittels Dozer abgeschoben. Die Gründe für den Dozer-Einsatz sind zum einen, dass es keinen Zufahrtsweg für die eingesetzten Lade- und Fördermaschinen gibt, und zum anderen, dass das hier vorkommende Material als Einzelkomponente nicht gebrochen werden kann. Zusätzlich diene diese eine Sprengung dazu, eine ebene Fläche für zukünftige Wandsprengungen zu schaffen. Nachdem das Gebirge durch Bohren und Sprengen gelöst wurde, folgt ein zweiter Zerkleinerungsschritt mittels Reißzahn, welcher den anschließenden Materialtransport vereinfacht. Im Vergleich dieser Sprengung zu den Sprengungen der Abbaustelle Mammut, welche sich nur durch unterschiedliche Etagen voneinander unterscheiden, ist die geringere spezifische Lademenge ($270\text{-}322\text{g/m}^3$ gegen 229g/m^3), da das Material einen höheren Verwitterungsgrad und eine geringere Festigkeit aufweist. Das Gestein wird danach über die Abbaukante auf ein tieferes Niveau abgestoßen und der vorangehenden Wandsprengung zugemischt. Das Sprengfeld hatte neben dem vertikalen Freiheitsgrad zwei weitere, nördlich und östlich.

Im hier genannten Einschnitt wurde eine Art Graben von Süden nach Norden geöffnet, um Erschütterungen zukünftiger Sprengungen im Jakobsberg vor den, hier sehr nahen Anrainern abzuschwächen. Hierfür wurden Sprengungen mit nur zwei Freiheitsgraden, vertikal und einer kleinen freien Fläche in Richtung Süden durchgeführt.

An den Abbaustellen Einschnitt und neben Moränenhalle wurde laut JCF besonders erschütterungsarm gesprengt. In diesen Bereichen sind die Anwohner sehr nah, weshalb bewusst weniger Sprengstoff eingesetzt wird. Analysen dieser Arbeit sind allerdings zu dem Ergebnis gekommen, dass Sprengungen im Bereich Einschnitt besonders hohe Erschütterungen, auf Basis der Distanz, der Sprengstoffmenge und des Ausbreitungsweges erzeugen. Sprengungen neben der Moränenhalle liegen im Mittelfeld, es ist ihnen kein eindeutiges Verhalten über alle Messstellen zuzuordnen.

7.5.4 Detailanalyse der einzelnen Abbaustellen

In diesem Analyseschritt werden Sprengungen einzelner Abbaustellen miteinander verglichen, da diese stets am selben Ausbreitungsweg zu den Messstellen liegen. Es wurden Abbaustellen gefunden, welche in der Mehrheit der Ausbreitungswege zu den einzelnen Messorten erschütterungsarmes oder erschütterungsreiches Verhalten zeigen. Dennoch fallen nicht alle Sprengungen einer Abbaustelle in dieselbe Gruppe. In der folgenden Tabelle werden alle Sprengungen einer Abbaustelle verglichen, und nach Gründen für diejenige, welche erschütterungsärmer oder erschütterungsreicher ausfielen, zu suchen. Da dieses Verhalten nicht in jedem Ausbreitungsweg aufgetreten ist, sind die zutreffenden mit grauer Farbe hinterlegt. Tabelle 17 listet das unterschiedliche Gruppenergebnis der Abbaustellen auf. Am Beispiel „Mammut Mitte“ sieht man, dass die Sprengung vom 21.03.2014 zu geringeren Erschütterungen an den Messstellen MST2, MST5 und MST6 als jene vom 09.04.2014 geführt hat.

	Weg	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	+	-
Mammut Mitte	2.1	*	21.3	9.4, 1.5	21.3	9.4
	3.1	21.3, 9.4, 1.5	*	*		
	4.2	21.3, 9.4, 1.5	*	*		
	5.1	21.3, 1.5	9.4	*		
	6.1	21.3	9.4, 1.5	*		
Mammut	2.1	21.2, 23.6	4.4	*	21.2	4.4, 23.6
	3.1	4.4, 23.6	*	*		
	4.2	4.4, 23.6	*	*		
	5.1	21.2, 4.4	23.6	*		
	6.1	21.2	4.4, 23.6	*		
Unteregg	3.1	19.3, 25.4, 20.5	16.6	*	18.2	16.6
	4.2	25.4, 20.5, 16.6	19.3	*		
	5.1	*	18.2, 19.3, 25.4, 20.5	16.6		
	6.1	18.2	19.3, 25.4, 20.5	16.6		
Strasse	2.1	*	*	9.4, 12.5	12.5	9.4
	3.1	*	12.5	9.4		
neben Moränenhalle	1.1	26.2, 27.2, 28.2, 28.2, 4.3, 7.3, 11.3, 12.3	*	*	26.2, 27.2, 28.2	7.3
	2.2	*	26.2, 27.2, 28.2, 28.2, 12.3	4.3, 7.3, 11.3		
	3.2	26.2, 27.2, 28.2, 28.2, 4.3	11.3, 12.3	7.3		
	4.1	27.2, 28.2, 28.2, 7.3, 11.3, 12.3	4.3	26.2		
	5.3	*	*	26.2, 27.2, 28.2, 28.2, 4.3, 7.3, 11.3, 12.3		
	6.2	26.2, 27.2, 28.2, 12.3	28.2, 4.3	7.3, 11.3		
hinten Moräne	1.1	28.3, 24.4, 16.5	2.5, 6.6, 20.6	*	16.5	2.5, 20.6
	2.2	*	*	28.3, 24.4, 2.5, 16.5, 6.6, 20.6		
	3.2	*	28.3	24.4, 2.5, 16.5, 6.6, 20.6		
	4.1	*	24.4, 16.5, 6.6	28.3, 2.5, 20.6		
	5.2	*	*	28.3, 24.4, 2.5, 16.5, 6.6, 20.6		
	6.2	*	*	28.3, 24.4, 2.5, 16.5, 6.6, 20.6		
	7.1	28.3, 16.5, 6.6	24.4, 2.5, 20.6	*		
Einschnitt	1.1	4.3	6.3	*	4.3	6.3
	4.1	*	*	4.4, 6.3		
	5.2	*	*	7.2, 7.2, 7.2, 4.3, 6.3		
	7.1	*	4.3	6.3		
hinten Moränenhalle	1.1	6.5, 13.6	*	*	13.6	6.5
	3.3	*	13.6	6.5		
	4.1	*	13.6	6.5		
	5.2	*	*	28.1, 29.1, 30.1, 31.1, 6.5, 13.6		
	7.1	13.6	6.5	*		
Geissen- autobahn	1.1	21.5	6.3, 16.4, 19.5, 27.6	21.3	21.5	
	3.2	21.5	21.3, 19.5, 27.6	6.3		
	4.1	6.3, 21.3, 16.4, 21.5, 27.6	19.5	*		
	5.2	*	19.5, 21.5, 27.6	6.3, 21.3, 16.4		
	6.2	*	*	6.3, 21.3, 16.4, 19.5, 21.5, 27.6		
	7.2	6.3, 21.3, 19.5, 21.5, 27.6	16.4	*		
J-Berg Rest	1.1	*	*	28.5		28.5
	2.2	*	*	7.2, 17.2, 28.5		
	3.2	*	*	28.5		
	4.1	*	28.5	*		
	5.2	7.2	17.2	28.5		
	7.2	28.5	*	*		

Tabelle 17: Detailanalyse der Abbaustellen

In diesem Kapitel wird nach Unterschieden in den Bohr- und Sprengparametern bzw. Umweltbedingungen gesucht, da es sich stets um denselben Ausbreitungsweg und ähnliche Abbaugeometrie handelt. Anhand dieser Unterschiede soll der Einfluss der Parameter erkannt und gezielt eingesetzt werden. Die protokollierten Sprengparameter der erschütterungsarmen Sprengungen wurden denen der erschütterungsreichen gegenübergestellt. Das Ergebnis ist in Diagramm 14 zu sehen und zeigt die Charakteristika der günstigeren Sprengungen. Insgesamt wurden hier zehn Abbaustellen untersucht. Die Analyse hat für die Stelle Jakobsberg Mitte keine klaren Ergebnisse gezeigt,

und bei den Abbaustellen Oberegg, Nordwand und Mammut Fläche handelt es sich jeweils um nur eine Sprengung.

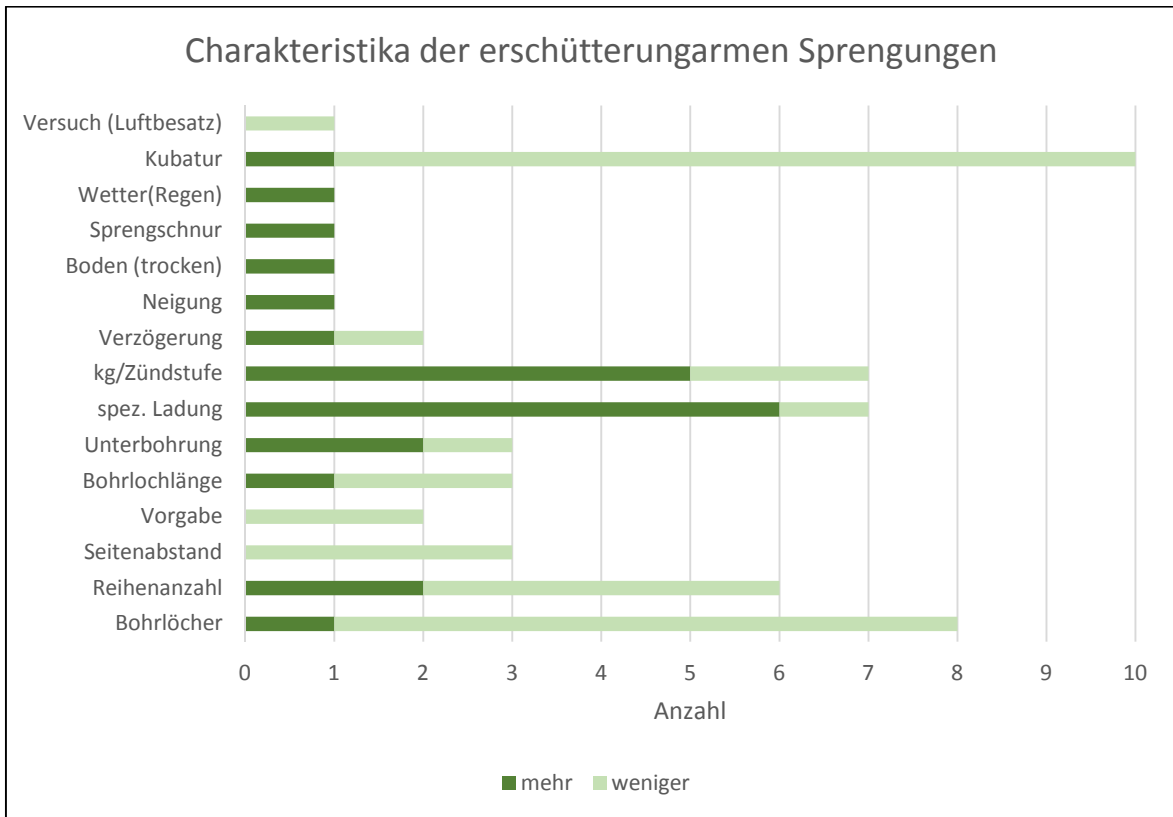


Diagramm 14: Charakteristika der erschütterungsarmen Sprengungen

Im Bereich Unteregg wurde ein Versuch mit PET-Flaschen als AirDecks durchgeführt. Dieser Versuch hat allerdings zu einem schlechteren Gruppenergebnis, und damit zu höheren Erschütterungen auf Basis der Skalierten Distanz geführt.

Da die Genauigkeit der Sprengdokumentation nicht sehr groß ist und zumeist auf durchschnittliche Werte der gesamten Sprenganlage basieren werden einige Ergebnisse aus diesem Analyseschritt als Zufall verbucht.

Folgende Umstände führen jedoch deutlich zu geringeren Erschütterungen:

- weniger Kubatur
- größere Sprengstoffmenge pro Zündstufe
- höhere spezifische Ladung
- weniger Vorgabe
- weniger Seitenabstand

- weniger Reihen
- weniger Bohrlöcher

Dennoch ist zu bemerken, dass die Signifikanz der Unterschiede gering ist. Wie die Auswertung in Diagramm 14 zeigt, haben sich die meisten Parameter nur selten unterschieden und könnten daher anderen Ursachen entspringen bzw. aufgrund statistischer Schwankungen zustande kommen. Um genauere Aussagen über den Einfluss der Sprengparameter treffen zu können muss eine exaktere und größere Datenmenge für Analysen verfügbar sein.

7.6 Erkenntnisse aus der Analyse der Sprengerschütterungen

Eine Häufigkeitsanalyse mit 521 Datensätzen hat gezeigt, dass es Messstellen gibt, die tendenziell höhere Erschütterungen aufzeichnen als andere. Es handelt sich hierbei um die Messstellen MST2, 3, 5, 6 und 8, welche sich offensichtlich durch eine bessere Ankopplung des Untergrundes und / oder einer besseren Wellenübertragung auszeichnen. MST 6 hat im untersuchten Zeitraum fünf Mal einen Erschütterungswert grösser dem Grenzwert von 3mm/s aufgezeichnet.

Die Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz von Sprengstelle zur Messstelle in einem doppeltlogarithmischen Diagramm hat eine große Varianz und eine schlechte Linearisierung gezeigt. Daraus lässt sich schließen, dass es neben den geologischen Verhältnisse auch noch weitere Einflussfaktoren geben muss. Des Weiteren zeigt jede Messstelle ein individuelles Verhalten aufgrund unterschiedlicher Ausbreitungscharakteristik, was eine allgemeine Prognose nicht möglich macht.

Die doppeltlogarithmische Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die skalierte Distanz hat keine Verbesserung der Linearisierung gezeigt. Anhand der erstellten Trendlinie wurden die Daten in 3 Gruppen eingeteilt. Relativ geringe Erschütterungen unter der Trendlinie (Gruppe 1), relativ hohe Erschütterungen über der Trendlinie (Gruppe 3) und der Übergangsbereich um die Trendlinie (Gruppe 2). Es hat sich gezeigt, dass die Messstellen MST1 und MST7

vorwiegend Erschütterungen der Gruppe 1 messen. Der Großteil der Erschütterungen von MST 2, 5 und 6 ist Gruppe 3 zugeordnet. MST 3 und MST 4 zeigen ein sehr variierendes Bild. Das bedeutet, dass MST1 und MST7 geringere Erschütterungen als MST2, MST5 und MST6 erfassen. Die Beurteilung der Messstellenaufstellungen hat keine signifikanten Unterschiede gezeigt, weshalb dieses differenzierte Verhalten auf verschiedene Ausbreitung, welche zu den Messstelle MST2, 5 und 6 weniger gedämpft ist, zurückzuführen ist.

Die Unterschiede der erschütterungsarmen Messstellen gegenüber den erschütterungsreichen sind geografisch (liegen westlich des Steinbruchs), topografisch (liegen höher) und zum Teil geologisch. Da die geologischen, und auch hydrogeologischen Verhältnisse außerhalb des Steinbruchs nicht detailliert bekannt sind, und der Einfluss von Geografie und Topografie nur eine Annahme ist, hat diese Untersuchung keine aussagekräftigen Ergebnisse erbracht.

Acht Sprengungen haben an allen Messstellen auffällig hohe bzw. geringe Erschütterungen angegeben. Die Erkenntnis aus der genaueren Betrachtung dieser erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen ist eine geografische und topografische Trennung. Die erschütterungsarmen Sprengungen liegen im nördlicheren Bereich des Steinbruchs auf höherer Lage als die erschütterungsreichen.

Im nächsten Analyseschritt wurde der Einfluss unterschiedlicher Ausbreitungsvoraussetzungen eliminiert indem nur Sprengungen mit ähnlichem Ausbreitungsweg zur Messstelle verglichen wurden. Die Analyse hat große Unterschiede des Erschütterungsverhaltens auf ein und demselben Ausbreitungsweg gefunden. Sprengungen an den Abbaustellen Mammut, Mammut Mitte, Mammut Fläche und Oberegg erzeugen wesentlich geringere Erschütterungen an den Messstellen als Sprengungen der Abbaustellen Einschnitt und hinter Moräne. Der Vergleich der Sprengparameter dieser Abbaustellen zeigt, dass eine größere Unterbohrung, mehr Seitenabstand, geringere Kubatur und das Sprengen in Richtung Osten/Westen anstatt Süden zu geringeren Erschütterungen führen. Diese Aussagen stützen sich auf grobe Aufzeichnungen der Sprenganlagen, und der tatsächliche Einfluss dieser Parameter auf das Erschütterungsergebnis kann nicht bewiesen werden. Unterschiede in geografischer Lage und Seehöhe decken sich mit dem Ergebnis der

vorangegangenen Analyse der erschütterungsarmen und erschütterungsreichen Sprengungen. Der Einfluss der Seehöhe was den Verwitterungsgrad und die Festigkeit widerspiegelt wurde in den Analysen bestätigt, und ist für zukünftige, tiefer gelegene Abbaustellen zu berücksichtigen.

Um den Einfluss von Bohr- und Sprengparameter auf die Erschütterungen zu untersuchen, wurden unterschiedliche Gruppenergebnisse der Abbaustellen detailliert betrachtet. Diese Detailanalyse zeigte, dass sich geringerer Kubatur, mehr Sprengstoff pro Zündstufe, mehr spezifische Ladung, weniger Vorgabe, weniger Seitenabstand, weniger Reihen und weniger Bohrlöcher erschütterungsärmer auswirken. Einige dieser Aussagen widersprechen sich mit jenen der vorherigen Analyse, wobei die Erkenntnisse dieser Untersuchung der allgemeinen Literatur über Sprengen entsprechen.

Trotz der großen Anzahl verschiedener Betrachtungen und Analysen ist das Erschütterungsergebnis nicht zu 100% erklärbar, und deshalb nicht genau prognostizierbar. Die eruierten Unterschiede der Analyse sind zum Teil recht gering und könnten aus statistischen Schwankungen stammen. Der Einfluss nicht erfassbarer Parameter könnte die beträchtliche Streuung der Erschütterungen erklären. Zum Beispiel könnten folgende Punkte eine tragende Rolle spielen:

- Wahre Ausbreitungsdistanz der Wellen im Untergrund
- Wahre geologische Verhältnisse von Sprengstelle bis zur Messstelle
- Einspannung der Sprenganlage
- Zündfolge (Schaffen der Freiheitsgrade)
- Kopplung Sprengstoff-Gebirge

(Vgl. EFEE, S.125)

- Grundwassermenge, Wasserströme, Niederschlagsmenge
- Anomalien eines Bohrlochs, Versuche, Besonderheiten welche im Sprengprotokoll nicht zu ersichtlich sind
- Wahre Werte der Sprengparameter (nicht nur Durchschnittswerte der Sprenganlage)
- Seehöhe der Sprengstelle

Für die Prognose von Erschütterungen kann daher nur eine Aussage über die zu erwartende Bandbreite gemacht werden. Es ist möglich Prognosen für einen

Worst Case und Best Case, bezogen auf das derzeitige Abbauverfahren, abzugeben.

7.7 ÖNORM S9020

Die österreichische Norm ÖNORM S9020 (Bauwerkserschütterungen, Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen) gibt eine Abstands-Lademenge-Beziehung an, bei deren Einhaltung die Unschädlichkeit der durch Sprengungen ausgelösten Bauwerkserschütterungen gegeben ist.

Die Norm unterscheidet zwischen zwei Zuständen:

1. Normale Verhältnisse bezüglich Bauwerkszustand und geologischer Gegebenheiten
2. Besonders günstige, geologisch homogene Verhältnisse (Festgestein mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit z.B. dicht gelagerter Kalkstein) auf denen das Bauwerk gegründet ist

Tabelle 18 zeigt die Distanz-Lademenge-Beziehungen für Distanzen zwischen 15-50m bzw. größer 50m vom Sprengort für zwei unterschiedliche Zustände, wobei D die Distanz in m und L die Lademenge in kg ist.

ZUSTAND	15-50M	>50M
1.NORMAL	$D = 15,8 * L^{1,085}$	$D = 25,6 * L^{0,625}$
	$L = \frac{D^{0,925}}{12,8}$	$L = \frac{D^{1,6}}{180}$
2.GÜNSTIG	$D = 7,85 * L^{1,085}$	$D = 17,2 * L^{0,625}$
	$L = \frac{D^{0,925}}{6,75}$	$L = \frac{D^{1,6}}{95}$

Tabelle 18: Distanz-Lademenge-Beziehung aus ÖNORM S9020 (Vgl. ÖNORM S9020)

(Vgl. ÖNORM S9020)

Nachstehend werden alle Sprengungen des Jahres 2014 mit der Grenzbedingung dieser Norm verglichen.

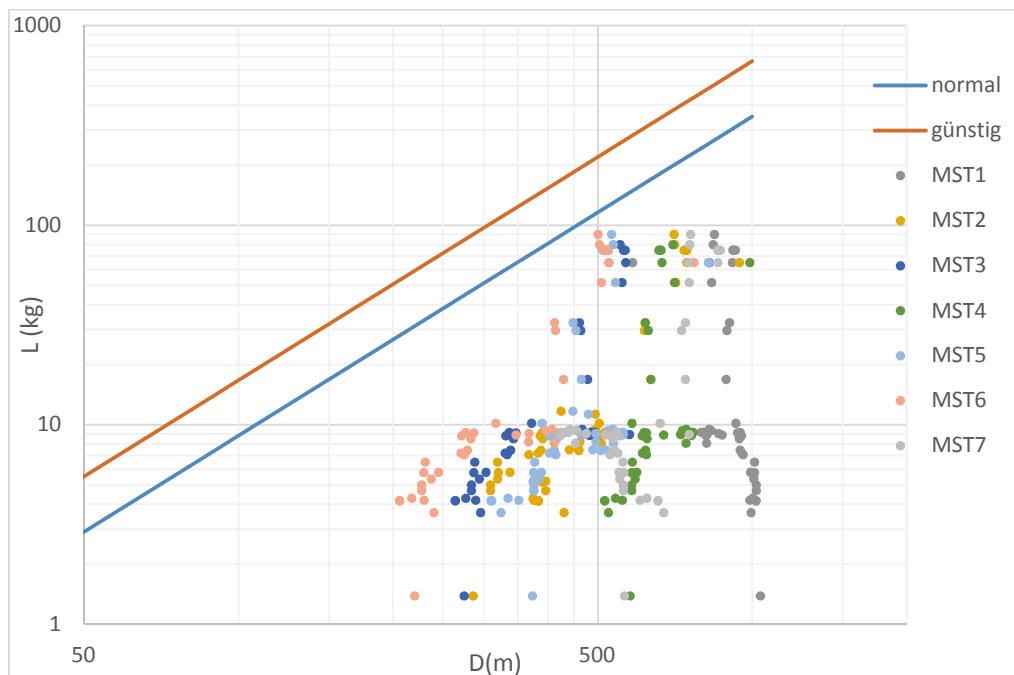


Diagramm 15: Distanz-Lademenge-Beziehung

In Diagramm 15 ist klar ersichtlich, dass die Grenzbedingung der ÖNORM für die Unschädlichkeit für Bauwerke, eingehalten, und alle Daten unterhalb beider Grenzen liegen. Auf Basis dieses Bewertungsverfahrens aus der österreichischen Norm sind die Sprengerschütterungen in einem Ausmaß, welches für Bauwerke kein Beschädigungsrisiko darstellt, und deren Magnitude somit dem Stand der Technik entspricht.

8 Geplante Abbauerweiterung

Da die Rohstoffvorräte der Steinbrüche Jakobsberg, Steinbitz, Oberegg und Unteregg beinahe aufgebraucht sind, wird nach neuen Abbaugebieten gesucht. Aktuell ist eine Erweiterung des derzeitigen Abbaugebiets nach Osten und Westen, und in die Tiefe geplant. Abbildung 13 zeigt das jetzige Abbaugebiet in blau und die aktuell geplante Abbauerweiterung in orange. Der schraffierte Bereich ist aktuell in Aushub und soll in der nächsten Abbauetappe in die Tiefe abgesenkt werden. Die minimale Entfernung von Anrainern zur geplanten Erweiterung beträgt 55m, was für ein Gewinnungssprengen durchaus eine kritische Distanz ist und genauere Untersuchungen notwendig macht. Die roten Punkte im Bild markieren Gebäude, welche näher als 100m am neuen Abbaugebiet liegen. Die grauen Punkte kennzeichnen sonstige Gebäude, wie z.B. Hütten oder Garagen.

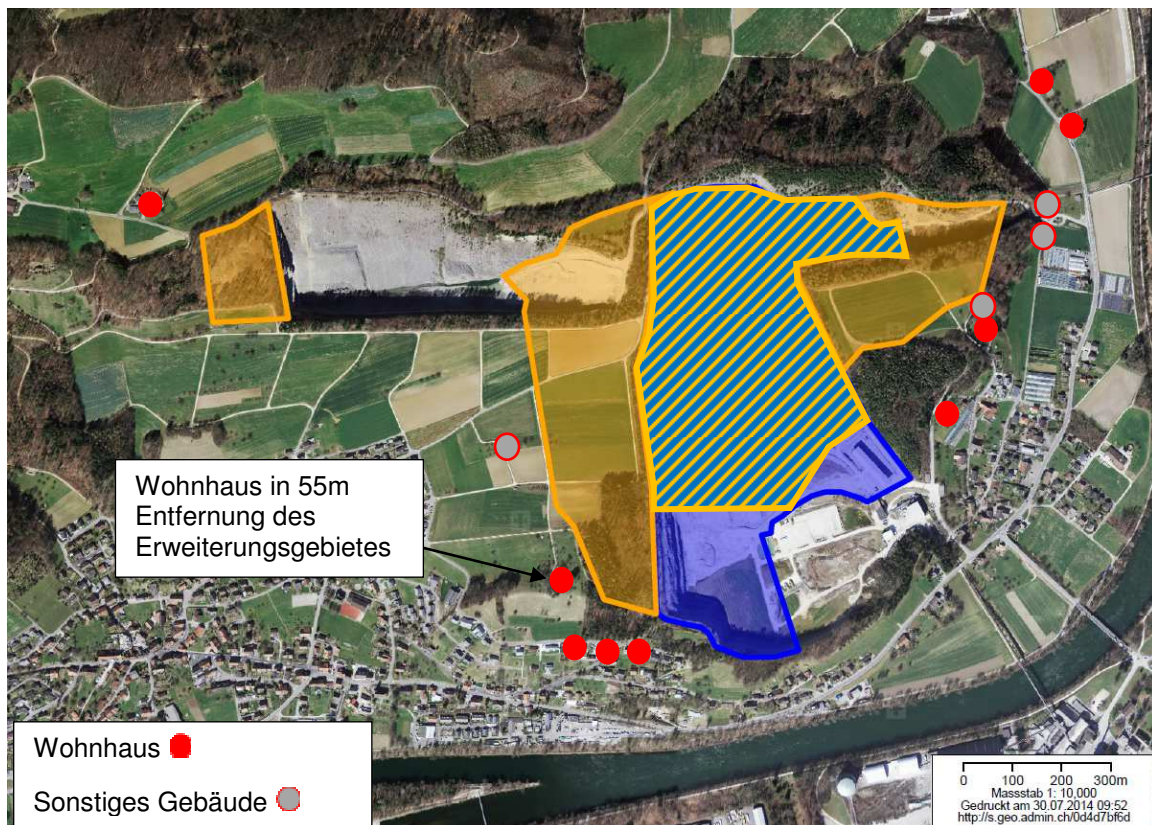


Abbildung 13: Erweiterungsgebiete Stand August 2014 (Vgl. Jura Cement 2014)

Da die Distanz zur Bevölkerung ein erhebliches Risiko für Schäden durch Sprengarbeiten darstellt, muss die Weiterführung des derzeitigen Abbaus genau betrachtet werden. Das folgende Kapitel befasst sich mit der Prognose von Sprengerschütterungen und Sprenglärm, und einer anschließenden Bewertung, ob die gültigen Grenzwerte eingehalten werden können oder nicht. Eine übermäßige Belastung durch Sprengerschütterungen und –lärm sowie Steinflug stellt ein ernsthaftes Risiko für Mensch und Sache dar und ist auf jeden Fall zu vermeiden.

8.1 Weiterführung des derzeitigen Sprengbetriebs

Für dieses Szenario wird davon ausgegangen, dass sich der Abbau durch Bohren und Sprengen in den Erweiterungsgebieten nicht wesentlich verändert. In den folgenden Prognosen für die Sprengemissionen Erschütterung und Schall wird dieselbe Streuung und situationsbedingte Anpassung des Betriebs wie im aktuellen Abbau vorausgesetzt. Weiters wird vorausgesetzt, dass sich die Messdaten aus denselben Messstellen an denselben Messstellen zusammensetzen.

8.1.1 Erschütterungsprognose

Wie in Kapitel 7.6 thematisiert, ist eine eindeutige Prognose der Sprengerschütterungen nicht möglich, da viele Einflussfaktoren nicht identifiziert oder quantifiziert werden können. Aufgrund einiger nicht erklärbarer und nachvollziehbarer Zusammenhänge ist es nur möglich eine Prognose für Minimal-

und Maximalwerte zu erstellen. Zu diesem Zweck werden zwei Szenarien, Best Case und Worst Case betrachtet und prognostiziert.

Als Grundlage dieser Szenarien wird abermals eine Gruppeneinteilung, welche die aktuelle Vorgehensweise repräsentiert, verwendet. Diese statistische Einteilung setzt voraus, dass in der Abbauerweiterung nach demselben System abgebaut wird und die Sprengmeister weiter auf spezielle Anwendungsfälle individuell reagieren. In Diagramm 16 ist die Schwinggeschwindigkeit über die Distanz doppellogarithmisch aufgetragen. Wie schon in den vorherigen Kapiteln werden Daten über der erstellten Trendlinie als Gruppe 3 mit höheren Erschütterungen, und die Messwerte unterhalb der Trendlinie als Gruppe 1 klassifiziert. Messwerte der Gruppe 3 repräsentieren generell überdurchschnittlich hohe Erschütterungen und werden als Worst Case Daten gesehen. Erschütterungen der Gruppe 1 sind bei gleicher Distanz wesentlich geringer als jene der Gruppe 3 und werden deswegen als Best Case Erschütterungen gesehen. Um den Übergangsbereich zu eliminieren, wird eine untere Grenze für den Best Case und eine obere Grenze für die Worst Case Prognose verwendet.

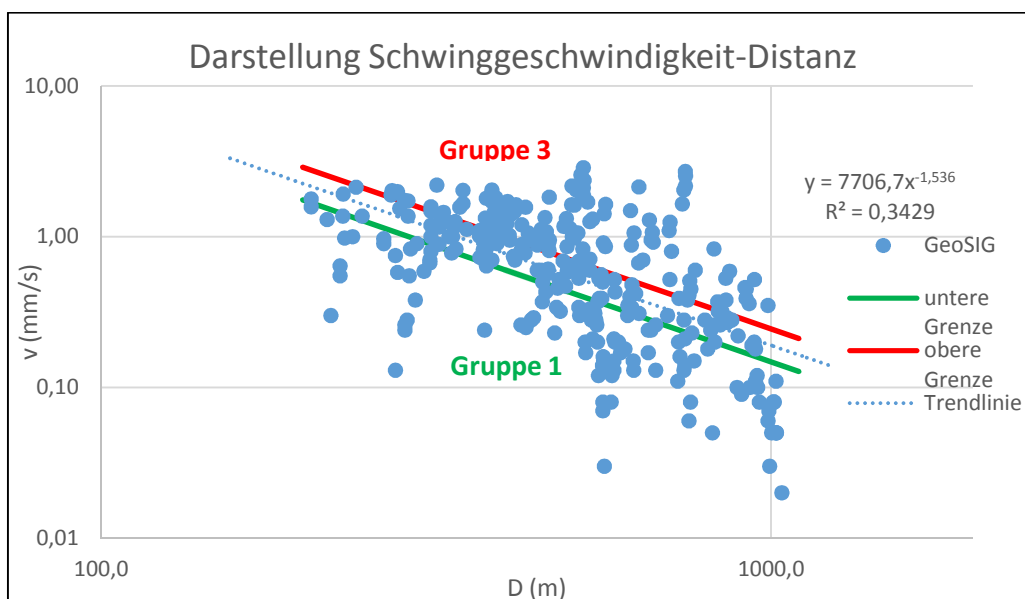


Diagramm 16: Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz, Stand 27.06.2014

Auf Basis der Gruppe 1 und Gruppe 3 Daten werden Regressionsanalysen durchgeführt um deren Zusammenhang formell darzustellen. Das Ergebnis ist in Diagramm 17 dargestellt.

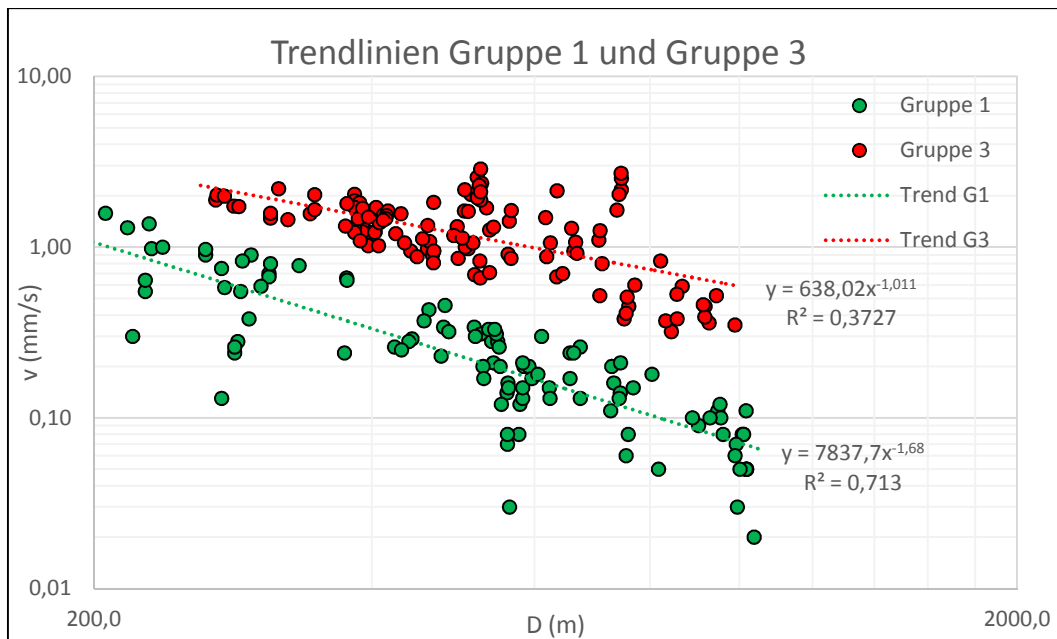


Diagramm 17: Trendlinien Gruppe 1 und Gruppe 3

Für die erstellten Formeln des Best Case und Worst Case Szenarios kann nun die Entfernung für eine bestimmte Schwinggeschwindigkeit ermittelt werden. Eine Schwinggeschwindigkeit von 3mm/s lehnt sich als Grenzwert an die Norm SN 640 312a an und wird als internes Maximum gehandhabt. Tabelle 19 zeigt Auszüge aus der Schweizer Norm. Weiter wird die Situation für einen theoretischen Höchstwert von 2mm/s betrachtet.

EMPFINDLICHKEITS- KLASSE	HÄUFIGKEITSKLASSE	MAXIMALWERT DER SCHWINGGESCHWINDIGKEIT [MM/S]		
		<30Hz	30-60Hz	>60Hz
(1) SEHR WENIG EMPFINDLICH		Bis zu 3fachen Werten von (3)		
(2) WENIG EMPFINDLICH		Bis zu 2fachen Werten von (3)		
(3) NORMAL EMPFINDLICH	gelegentlich	15	20	30
	häufig	6	8	12
	permanent	3	4	6
(4) ERHÖHT EMPFINDLICH		Zwischen Werten von (3) und der Hälfte davon		

Tabelle 19: Maximale Schwinggeschwindigkeit nach SN 640 312a (SN 640 312a, S. 6)

Maximale Schwinggeschwindigkeit 3mm/s

BestCase :

$$v = 7837,7 * D^{-1,68}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 3\text{mm} / \text{s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 7837,7 - \ln 3}{1,68}\right)} = \underline{\underline{108,14\text{m}}}$$

WorstCase :

$$v = 638,02 * D^{-1,011}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 3\text{mm} / \text{s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 638,02 - \ln 3}{1,011}\right)} = \underline{\underline{200,63\text{m}}}$$

Formel 5: Best Case und Worst Case Szenario für 3mm/s

Im Best Case Szenario, in welchem die Erschütterungen gering bleiben, wird der Grenzwert 3mm/s in einer Distanz von 108,14m von der Sprengstelle erreicht. Im Worst Case Szenario sind die Erschütterungen stärker und der Grenzwert wird erst in einer Entfernung von 200,63m vom Sprengort erreicht werden. Im Worst Case Fall wird eine bessere Übertragung der Wellen im Boden mit geringerer Dämpfung oder einer stärkeren Erschütterungsquelle angenommen. Deshalb ist die Distanz, welche für eine Abschwächung der Erschütterung auf 3mm/s benötigt wird, grösser. Als Distanz wird rein die Luftlinie, ohne Berücksichtigung von Höhenlagen verstanden.

In Abbildung 14 sind die notwendigen Radien zur Abschwächung der Erschütterungen unter den Grenzwert von 3mm/s, ausgehend von den nächsten Gebäuden dargestellt. Für das Best Case Szenario ergeben sich die grünen, für den Worst Case die roten Kreise. Eine Überschneidung der Radien mit dem Erweiterungsgebiet bedeutet, dass Sprengungen in diesen Bereichen den Grenzwert an einem Gebäude überschreiten werden.

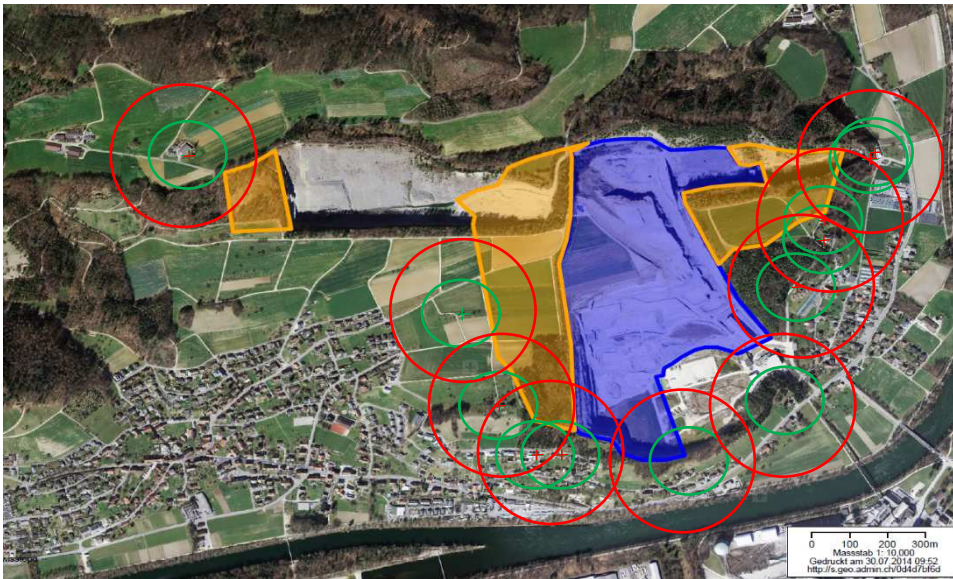


Abbildung 14: Best Case- und Worst Case-Radien für die Einhaltung der 3mm/s-Marke

Diese kritischen Bereiche, an denen eine unangepasste Sprengung den Maximalwert übertritt sind in Abbildung 15 (Best Case) und Abbildung 16 (Worst Case) zu sehen. Ohne Optimierung oder situationsbedingter Anpassung des Sprengbetriebs in den kritischen Bereichen (roter Bereich) ist die Einhaltung der Erschütterungsgrenze von 3mm/s nicht garantiert.

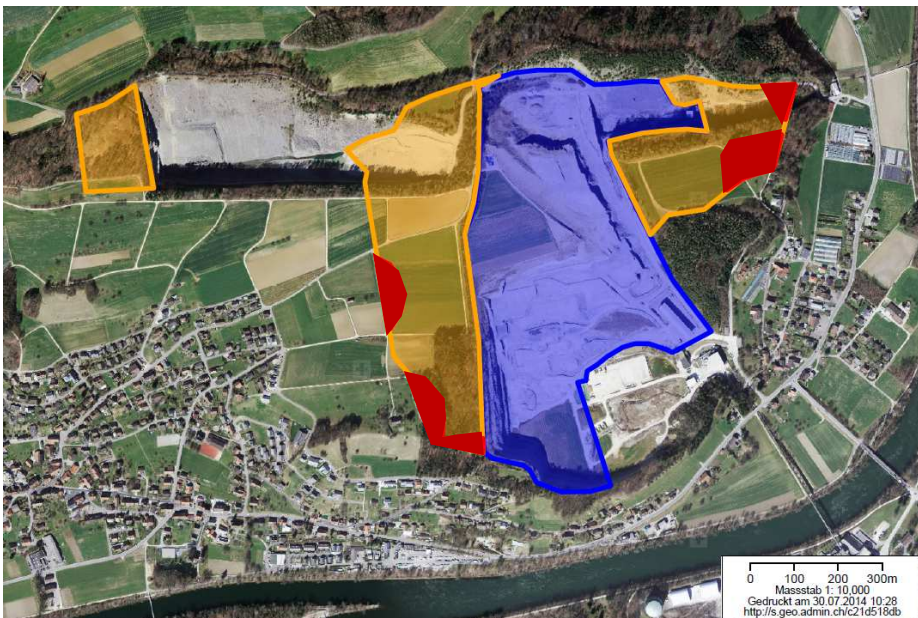


Abbildung 15: Best Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s

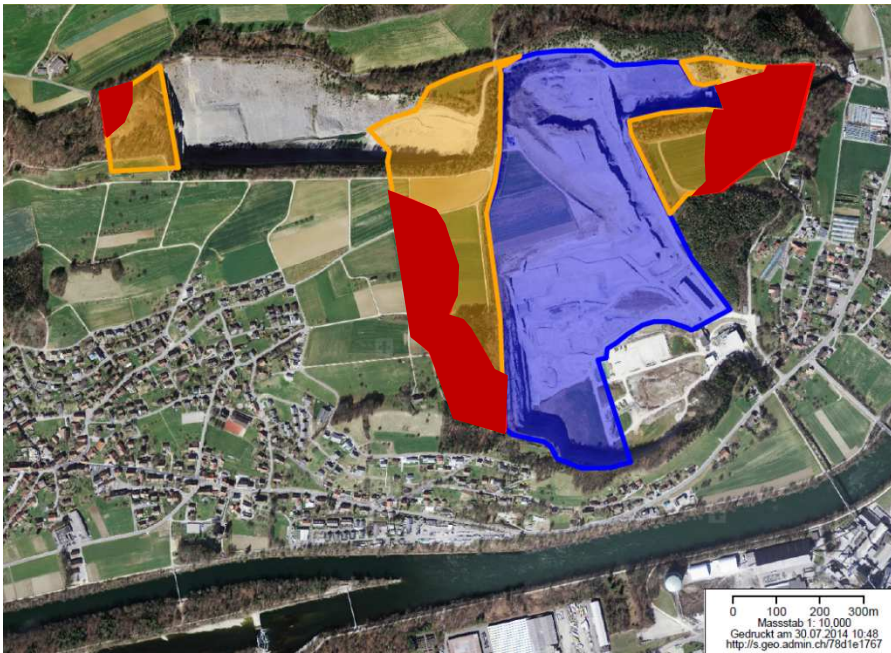


Abbildung 16: Worst Case - kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s

Für den Abbau in diesen kritischen Bereichen stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die erste wäre eine Anpassung bzw. Umstellung der Bohr- und Sprengparameter. Erschütterungsarmes Sprengen wurden bei JCF vielfach diskutiert und experimentell eingesetzt. Um eine Aussage über die Wirksamkeit der Optimierung zu erhalten und diese gezielt einsetzen zu können wären eine umfangreiche Versuchsreihe und eine standesgemäße Auswertung notwendig. Da sich diese Arbeit allerdings nicht mit der Optimierung des aktuellen Sprengbetriebs befasst wird auf die zweite Möglichkeit, die Anwendung einer alternativen Abbaumethode gesetzt. In Kapitel 8.3 werden alternative, teils mechanische Abbaumethoden als Substitution des Sprengens in den kritischen Bereichen beschrieben.

Maximale Schwinggeschwindigkeit 2mm/s

Da die Bevölkerung dem Abbau durch Sprengen, und vor allem den Sprengerschütterungen gegenüber sehr kritisch eingestellt ist, könnte es in der Zukunft zu einer Forderung, die Sprengerschütterungen auf maximal 2mm/s zu reduzieren, kommen. Für diesen Fall werden die Distanzen für die Einhaltung dieser 2mm/s-Marke berechnet.

BestCase :

$$v = 7837,7 * D^{-1,68}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 2\text{mm} / \text{s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 7837,7 - \ln 2}{1,68}\right)} = \underline{\underline{137,65\text{m}}}$$

WorstCase :

$$v = 638,02 * D^{-1,011}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 2\text{mm} / \text{s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 638,02 - \ln 2}{1,011}\right)} = \underline{\underline{299,61\text{m}}}$$

Formel 6: Best Case und Worst Case Szenario für 2mm/s

Um eine Schwinggeschwindigkeit von 2mm/s an den Anwohnergebäuden nicht zu überschreiten, ist eine Distanz vom Sprengort von 137,65m bzw. 299,6m erforderlich. Die folgenden Abbildungen zeigen analog zum vorherigen Schritt die kritischen Bereiche, in denen mit dem derzeitigen Sprengverfahren der Maximalwert der Erschütterung nicht eingehalten werden kann.

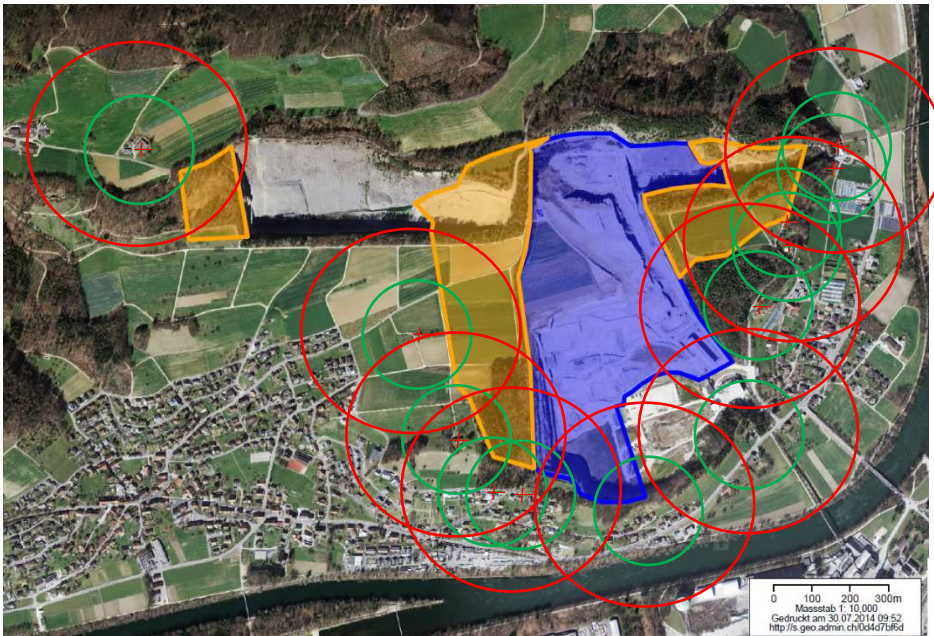


Abbildung 17: Best Case- und Worst Case-Radien für die Einhaltung der 2mm/s-Marke

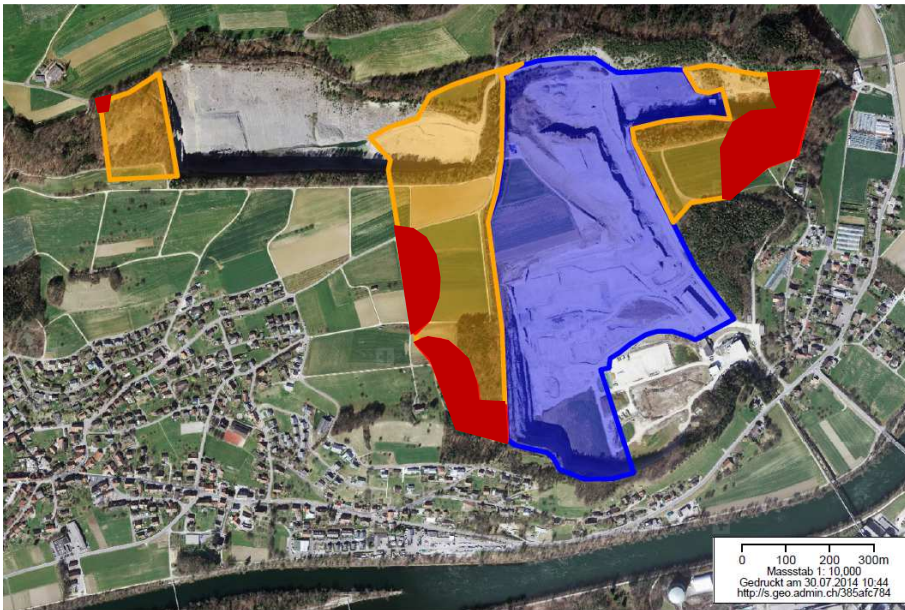


Abbildung 18: Best Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 2mm/s

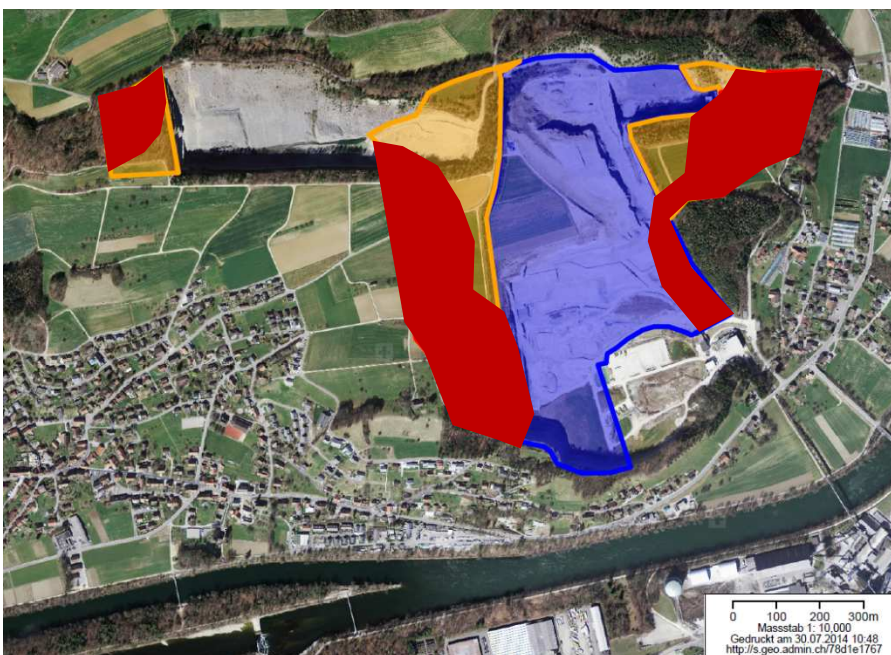


Abbildung 19: Worst Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 2mm/s

Extremfälle

Die Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz zeigt nach oben und unten extreme Ausreisser, siehe Diagramm 18. Diese Ausreisser im Diagramm werden hier als Extremfälle bezeichnet. Diese Nomenklatur geht von der Lage der

Daten im Diagramm, nicht von extremen Bedingungen aus. Die Ausreisser nach oben hin zeigen extrem erschütterungsreiches Verhalten und werden als Extremfall – schlecht bezeichnet. Die sehr tiefen Werte werden Extremfall – gut genannt.

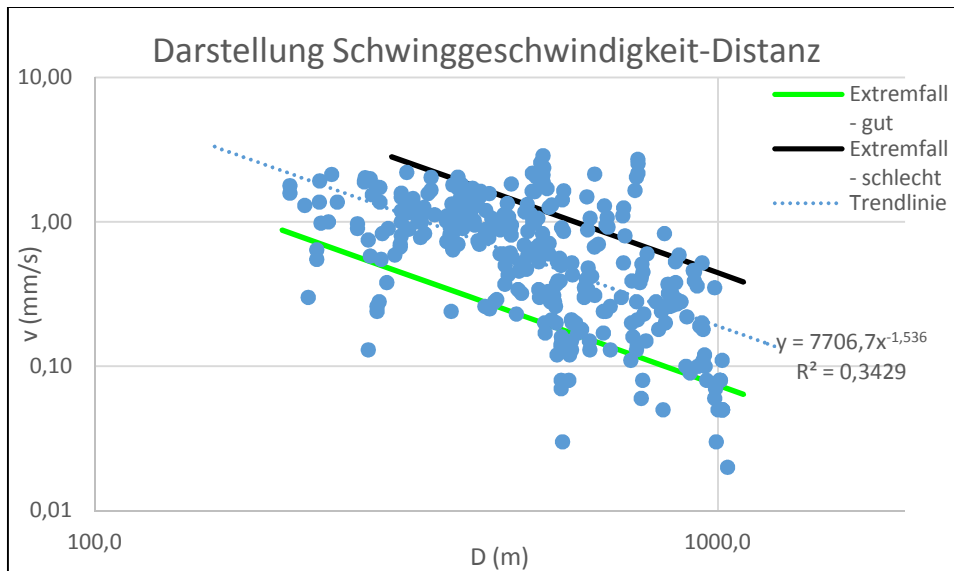


Diagramm 18: Darstellung Schwinggeschwindigkeit über Distanz – Extremfälle

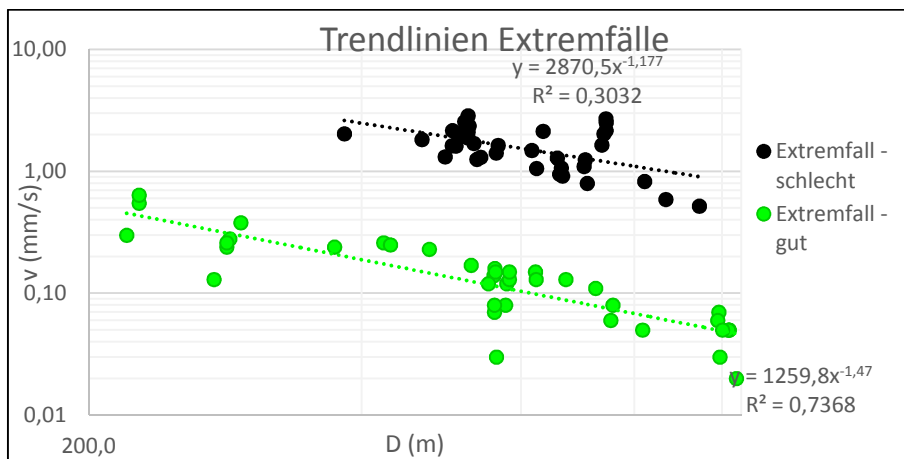


Diagramm 19: Trendlinien Extremfälle

Erschütterungen des Extremfalls – schlecht stammen mehrmals von den Abbaustellen Unteregg und Mammut bzw. Mammut Mitte. Weiters befinden sich Sprengungen der Abbaustellen Nordwand, Jakobsberg Rest, Einschnitt, Oberegg, hinter Moräne und Straße darunter. Bei den Abbaustellen Unteregg, Mammut, Mammut Mitte, Nordwand und Oberegg handelt es sich um Wandsprengungen mit Bohrlochlängen grösser 10m, was einen großen Sprengstoffeinsatz erfordert und

die hohen Erschütterungen erklärt. Sprengungen hinter der Moräne oder im Bereich Jakobsberg Rest werden jedoch mit geringeren Bohrlochlängen, ca. 6m, kleiner ausgeführt. Im Bereich Einschnitt wurde ein Graben geöffnet, es gab wenig Freiheitsgrade und die Einspannung war groß, was die hohen Erschütterungen erklärt.

Es ist hier anzumerken, dass Sprengungen der Abbaustellen Mammut, Mammut Mitte und Oberegg auf Basis der Skalierten Distanz ein ausgezeichnetes Gruppenergebnis zeigten und geringere Erschütterungen auslösten.

Der Extremfall – gut zeigt abgesehen von zwei Sprengungen, Mammut Fläche und eine aus dem Gebiet neben Moränenhalle, keine vergleichbaren Zusammenhänge. Bei der Abbaustelle neben Moränenhalle handelt es sich um geringe Distanzen zu den nächsten Anwohnern, weshalb die Sprengungen mit geringen Bohrlochlängen bewusst klein gehalten wurden. Die Sprengung der Abbaustelle Mammut Fläche war als Übergang zur Auflockerungssprengung gedacht. Die Verwendung von Auflockerungssprengungen für das Erweiterungsgebiet ist definitiv in Erwägung zu ziehen, und wird in Kapitel 8.3.4 weiteren Betrachtungen unterzogen.

Mit Hilfe der Formeln der Regressionsanalyse aus Diagramm 19 können die Entfernungen bis zu einer Abschwächung der Erschütterungen auf den Grenzwert von 3mm/s berechnet werden.

Extremfall – schlecht :

$$v = 2870,5 * D^{-1,177}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 3\text{mm/s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 2870,5 - \ln 3}{1,177}\right)} = \underline{\underline{340,86\text{m}}}$$

Extremfall – gut :

$$v = 1259,8 * D^{-1,47}$$

$$v_{\text{Grenzwert}} = 3\text{mm/s}$$

$$D = e^{\left(\frac{\ln 1259,8 - \ln 3}{1,47}\right)} = \underline{\underline{60,88\text{m}}}$$

Formel 7: Formeln für Extremfälle

Da es sich hier um extreme Stellungen aus dem Diagramm handelt, fallen die notwendigen Distanzen für die Einhaltung der 3mm/s sehr unterschiedlich aus. Für den Extremfall – schlecht gilt, dass erst in einer Entfernung von 340,86m vom Sprengort die Erschütterungen dem Grenzwert, welchen es zu unterschreiten gilt, erreicht haben. Im gegensätzlichen Extrem – gut ist dies bereits nach 60,88m

geschehen. Anstehend sind die Radien für den Extremfall – gut (grün) und Extremfall – schlecht (schwarz), ausgehend von den umliegenden Anwohnern zu sehen.

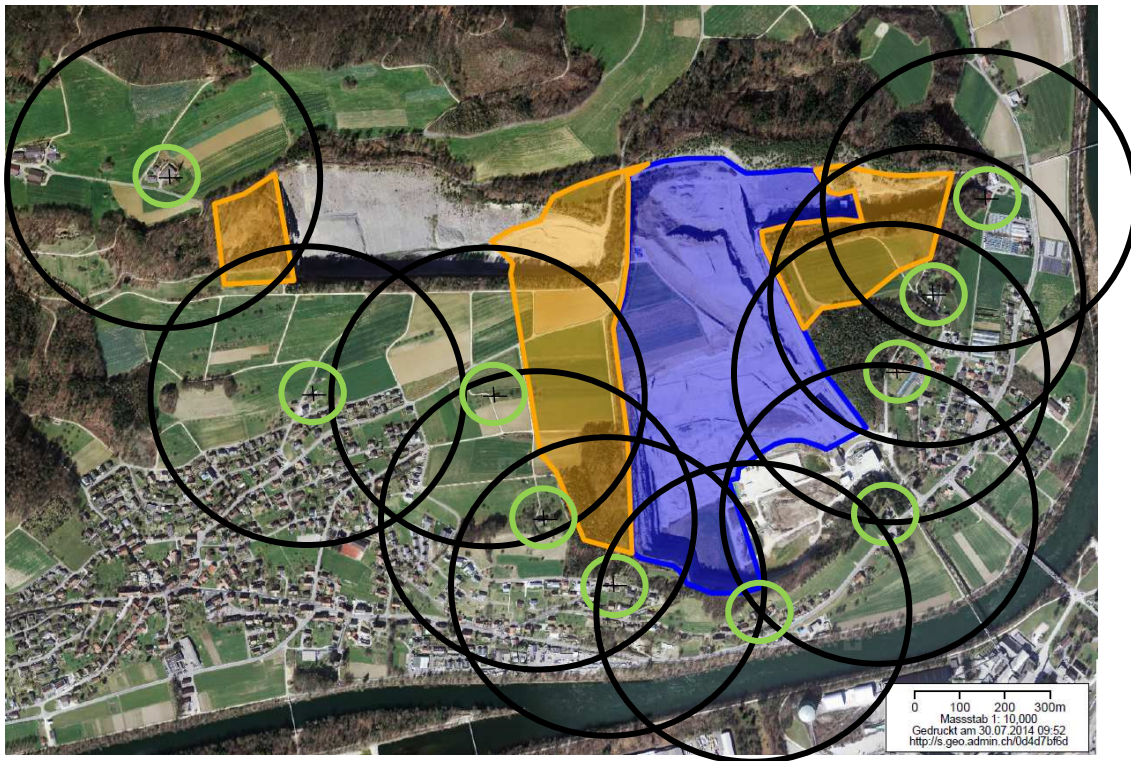


Abbildung 20: Extremfall-Radien für die Einhaltung von 3mm/s

Die kritischen Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s für Sprengungen der Gruppe Extremfall-schlecht ist in Abbildung 21 dargestellt und umfassen beinahe die gesamten Erweiterungsgebiete. Um die Erschütterungsgrenze nicht zu überschreiten, ist in diesen Gebieten auf Sprengungen dieser Art zu verzichten. Oberstehend wurden diese Sprengungen größtenteils als Wandsprengungen mit Bruchwandhöhen grösser 10m identifiziert, wobei keine 100%-iger Zusammenhang der als Extremfall-schlecht aufgetretenen Sprengungen besteht, und es sich zumeist um einzelne Datensätze und nicht ganzheitliche Sprengungen (sieben Datensätze der Messstellen) handelt.

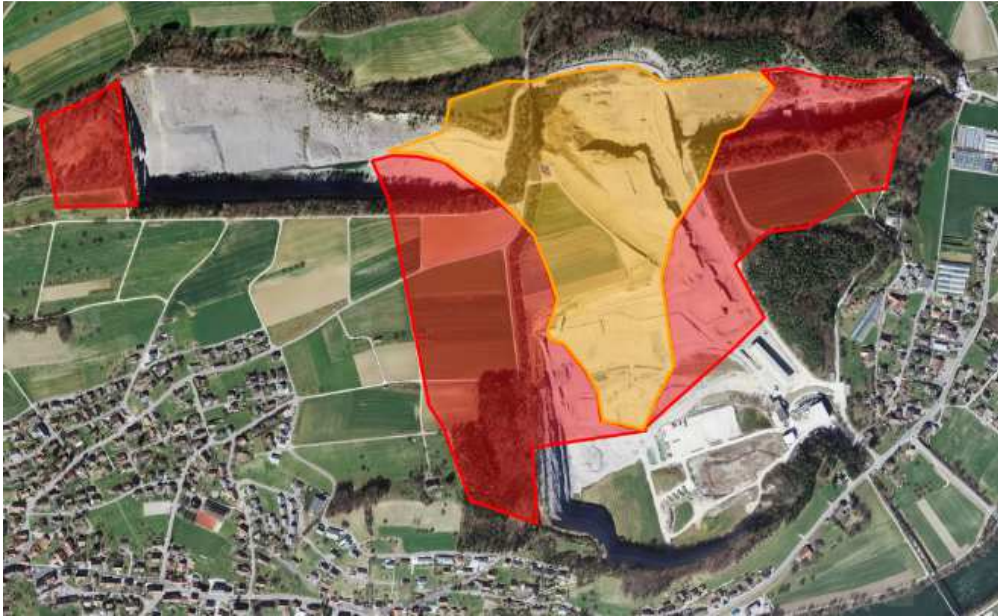


Abbildung 21: Extremfall-schlecht - kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s

Für das Szenario Extremfall-gut ergeben sich keine kritischen Bereiche und die Obergrenze der Erschütterungen kann in den gesamten Erweiterungsgebieten eingehalten werden. Die Analyse dieser Daten hat allerdings gezeigt, dass es keinen klaren Zusammenhang dieser gibt. Dies bedeutet, dass die Situation eines Extremfall-gut kann nicht nachgeahmt und somit herbeigerufen werden kann.

Geologische Untersuchung der Extremfälle

Im vorangegangenen Kapitel wurden bestimmte Sprengungen als Extremfall-schlecht bezeichnet, da sie sich als Ausreißer in der Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz zeigten. Diese Daten weisen eine auffallend hohe Erschütterung für die entsprechende Entfernung der Messstelle vom Sprengort auf. Da es sich dabei genaugenommen nicht um ganze Sprengungen sondern nur einzelne Messdaten von Sprengungen handelt, sind die Sprengstellen inklusive Ausbreitungsweg zur Messstelle, welche diesen Extremfall erfasste, in Abbildung 22 dargestellt.

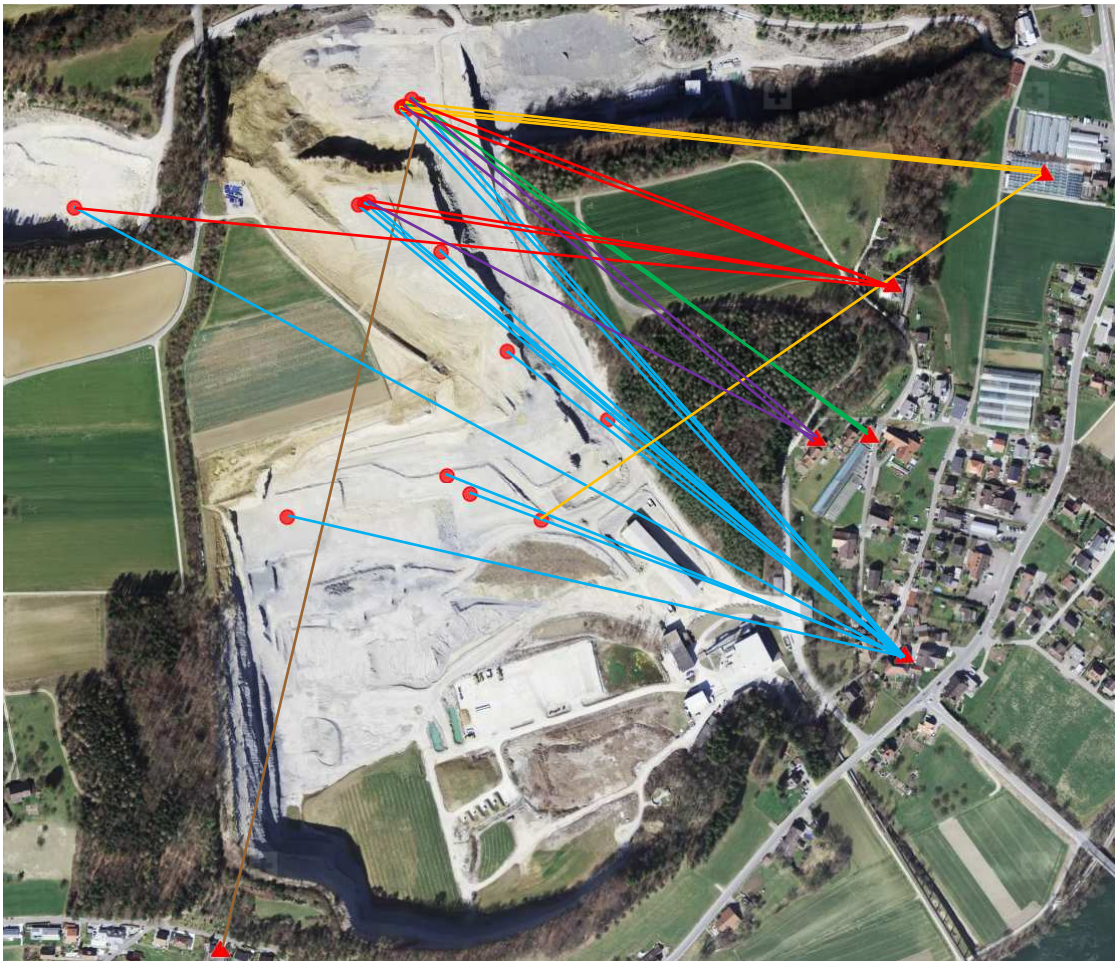


Abbildung 22: Ausbreitungswege der Ausreißer aus der Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz

Die Linien in Abbildung 22 repräsentieren die Ausbreitungswege der Bodenwellen von der Sprengstelle bis zum Messgerät. Die meisten Extremfälle wurden durch die MST2 (Linien in blau) gemessen, wo hingegen MST1 keinen dieser Daten registriert hat.

Bei einer genauen Betrachtung der Extremfälle stellt man fest, dass es sich um Sprengungen mit unterschiedlichen Bohrlochlängen (6-30m) und Sprengrichtungen in alle Himmelsrichtungen handelt. Generell ist hier kein Zusammenhang dieser, so ausgeprägten Ausreißer zu sehen.

Abbildung 23 zeigt die Extremfälle in einer geologischen Karte. Je grösser die Kreise sind, desto öfter führte eine Sprengung dieser Abbaustelle zu einem Ausreißer im Diagramm. Es stellt sich heraus, dass Sprengungen an fast jeder geologischen Schichtung zu einem Extremfall führten. Auch liegen diese, in Vergleich mit Abbildung 22 quer und parallel des Streichens.

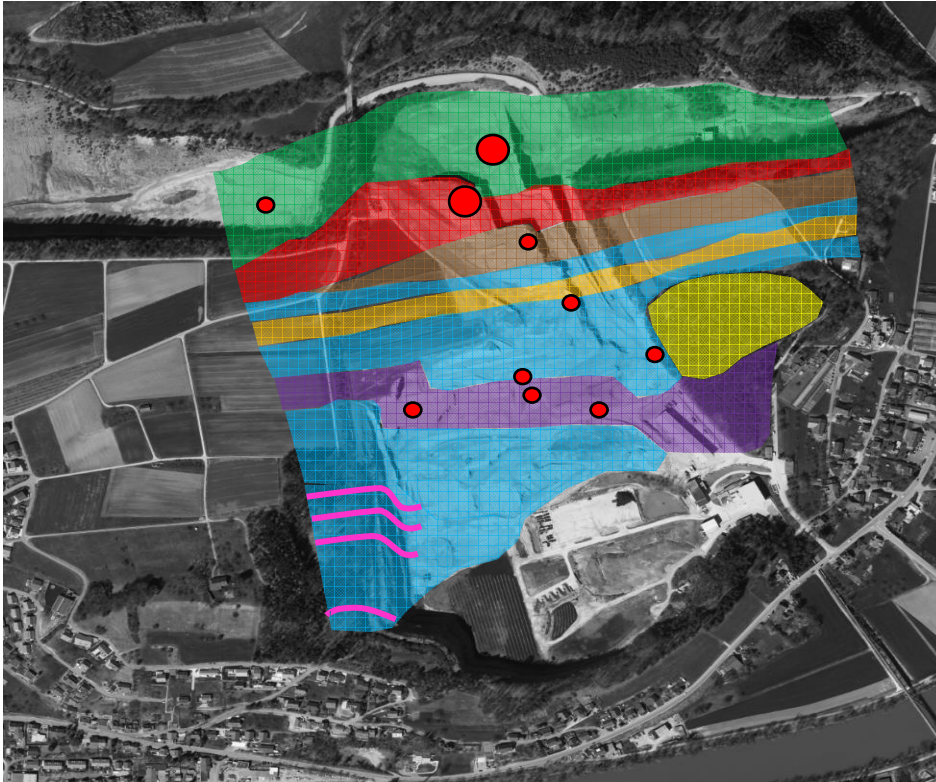


Abbildung 23: Extremfälle in geologischer Karte

Die hier durchgeführten Analysen der Extremfälle im Schwinggeschwindigkeits-Distanz Diagramm haben keine Erklärung erbracht, und es wurden keine Gemeinsamkeiten dieser Sprengungen gefunden. Daher sind sie, mit den zur Verfügung stehenden Informationen nicht erklärbar, und somit auch nicht gezielt vermeidbar.

Die Analyse der Sprengerschütterungen in Kapitel 7.5.1 hat ein unterschiedliches Verhalten der Messstellen gezeigt. Auffallend ist hier, dass die Messstellen, westlich des Steinbruchs generell niedrigere Erschütterungen erfassen als die Messstellen, östlich des Steinbruchs. Der Grund dieser geografischen Trennung könnte in verschiedenen geologischen Bedingungen, in den einzelnen Himmelsrichtungen, liegen. Um hier eine deutliche Aussage treffen zu können, müssten die Messstellen westlich des Steinbruchs verdichtet werden. Sollte diese Hypothese durch weitere Messstellen bestätigt werden, kann westlich des Steinbruchs die Prognoseformel des Best Case Szenarios angewendet werden.

8.1.2 Schallprognose

In diesem Kapitel wird die Schallbelastung durch den Abbau in den Erweiterungsgebieten prognostiziert. Als Grundlage dieser Prognose dienen die vorgenommenen Schallmessungen, welche in Kapitel 5.3 beschrieben sind. Da diese Messungen stets frontal der Bruchwand durchgeführt wurden, prognostiziert die erstellte Formel ebenfalls den Maximalwert der Schallbelastung vor der Bruchwand.

Die Analyse der Schallmessungen hat den Einfluss von eingesetzter Sprengschnur auf den Schalldruck und Schallpegel gezeigt, weshalb zwei Varianten prognostiziert werden. Formel 8 sagt Schalldruck und Schallpegel ohne und Formel 9 mit Einsatz von Sprengschnur voraus.

$$p = 3 * 10^7 * D^{-2,651}$$

$$L_p = 346,44 * D^{-0,199}$$

Formel 8: Formeln für Schalldruck und Schallpegel ohne den Einsatz von Sprengschnur

Sprengschnureinsatz :

$$p = 10^9 * D^{-3,262}$$

$$L_p = 478,91 * D^{-0,251}$$

Formel 9: Formeln für Schalldruck und Schallpegel mit dem Einsatz von Sprengschnur

Aus diesen Formeln ergeben sich folgende Prognosewerte für Schalldruck und Schallpegel in einer Entfernung von 50m bzw. 100m von der Sprengstelle:

DISTANZ (M)	OHNE SPRENGSCHNUR		MIT SPRENGSCHNUR	
	p (Pa)	Lp (dB)	p (Pa)	Lp (dB)
50	940,1	159	2870,5	179
100	149,7	139	299,2	151

Tabelle 20: Schallbelastung in 50m und 100m

Tabelle 21 zeigt eine Schallpegeltabelle für unterschiedliche Situationen. Ab einem Schallpegel von 120-140dB ist mit einer gesundheitsschädigenden Wirkung des Schalls zu rechnen.

	LÄRMQUELLE / SITUATION	SCHALLPEGEL (DB)
	Untere Hörgrenze	0
leise	Leichtes Rauschen	20
	Flüstern	30
mittel	Normale Konversation	60
laut	Auto aus kleiner Distanz	60-100
sehr laut – unangenehm	Flugzeugstart aus kleiner Distanz	120
	Schmerzgrenze	120-140
schädlich	Start eines Jets aus 30m	150
	Abfeuern einer militärischen Waffe	180

Tabelle 21: Schallpegeltabelle (Rydzynski 2008, S.17 und http://www.engineeringtoolbox.com/sound-pressure-d_711.html)

Aus der Prognose für die Schallbelastung in 50m und 100m Entfernung ergeben sich in jedem Fall, mit und ohne Sprengschnureinsatz, Werte über der Schmerzgrenze. Für Sprengungen mit geringer Entfernung von Wohnhäusern ist in deren entgegengesetzte Richtung zu sprengen und/oder weitere Maßnahmen zu treffen, um die Schallbelastung zu reduzieren.

8.2 Optimierungspotential für den aktuellen Abbau

Die Untersuchungen dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Rohstoffgewinnung im Steinbruch dem Stand der Technik entspricht, die Sprengemissionen generell als niedrig einzustufen sind, alle Grenzwerte eingehalten werden, und JCF großen Wert auf kontinuierliches Verbessern des Sprengbetriebes legt.

In Kapitel 7.7 wird das Kriterium für unschädliches Sprengen in Bezug auf Gebäude aus der ÖNORM S9020 betrachtet, und festgestellt, dass dieses für alle Datensätze von Jänner 2014 bis Juni 2014 erfüllt ist.

Obwohl JCF aktuell ordentlich und professionell arbeitet, besteht dennoch ständig Potential für Optimierungen und Verbesserungen, welches in den folgenden Kapiteln aufgezeigt wird.

8.2.1 Theoretische Grundlagen von Sprengemissionen und deren Beeinflussung

Reduktion von Sprengschallemissionen

Sprengschallemissionen treten in der Regel in zwei unterschiedlichen Formen, Primärschall und Sekundärschall, auf. Primärschall entsteht direkt am Sprengort in Form von Luftdruckschwankungen, wird durch die Luft transportiert und trifft schließlich auf Gebäude auf. Der Sekundärschall wird vom Sprengort bis zum Gebäude in Form von Bodenwellen übertragen und erzeugt am Gebäude Schwingungen und Luftdruckschwankungen, welche z.B. zum Klirren von Geschirr führen können.

(Vgl. Fuchs 2003, S. 112-121)

In der nachstehenden Tabelle sind Maßnahmen zur Sprengschallreduzierung und ihre Wirksamkeit zusammengefasst. Zusätzlich wird der Status der Theorie angegeben, welcher sich aus Untersuchungen der RWTH Aachen ergeben hat.

MAßNAHMEN	REDUZIERUNG BEZÜGLICH	WIRKSAMKEIT	STATUS DER THEORIE
Sprengtechnik			
Kompakte Wandsprengungen vermeiden	Infraschall (Primärschall)	wahrscheinlich	untersuchen
Wandhöhe reduzieren	Primärschall	wahrscheinlich	untersuchen
Wandhöhe vergrößern	Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Elektronisch zünden	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Ladestoffmenge pro Zündzeitstufe reduzieren	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt

Lademenge pro Volumeneinheit reduzieren	Primärschall	erkennbar	bestätigt
Redundant zünden	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Ladesäule teilen	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Sprengschnur abdecken	Primärschall	erkennbar	bestätigt
Sprengschnur mit hohem Sprengstoffgehalt pro Längeneinheit nutzen	Sekundärschall	vermutet	untersuchen
Sprengungen einzelner Bohrlöcher vermeiden	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Sprengen weniger Bohrlöcher (4-7) vermeiden	Primärschall, Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Anzahl der gesprengten Bohrlöcher muss der Wandhöhe in Metern entsprechen	Primärschall	vermutet	untersuchen
Emissionsort und Immissionsort geologische trennen	Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Wettereinflüsse			
Bei feuchter Wetterlage sprengen	Primärschall	wahrscheinlich	untersuchen
Bei Gegenwind bzw. Seitenwind sprengen	Primärschall	erkennbar	weiter zu untersuchen
Bei trockenen Bodenverhältnissen sprengen	Sekundärschall	erkennbar	bestätigt
Bauliche Maßnahmen			
Wohnhäuser auf Kiesbetten errichten	Sekundärschall	wahrscheinlich	untersuchen
Sonstige Maßnahmen			
Durch z.B. Flugzettel, Anrufen, Tagespresse vorwarnen	Allgemeine Beschwerden	erkennbar	bestätigt
Anzahl von Sprengungen pro Zeiteinheit reduzieren	Allgemeine Beschwerden	wahrscheinlich	bestätigt
Dialog mit Anwohnern suchen	Allgemeine Beschwerden	erkennbar	bestätigt

Tabelle 22: Maßnahmen zur Reduzierung von Sprengschallemissionen (Fuchs 2003, S.122f)

Reduktion von Sprengerschütterungen

- Geologie

Die geologischen Gegebenheiten haben einen großen Einfluss auf die Ausbreitung der Bodenwellen. Während sich Bodenwellen in homogenem, massigem Gebirge in alle Richtungen gleichermaßen ausbreiten, werden Wellen an Diskontinuitäten abgelenkt bzw. abgeschwächt und entwickeln so unterschiedliches Ausbreitungsverhalten in verschiedenen Richtungen. Der Einfluss der Geologie auf die Erschütterungen nimmt mit der Entfernung zum Sprengort zu, der Einfluss der Sprengparameter ab.

Fazit: *Geologie kann nicht kontrolliert werden. Wissen über geologische Verhältnisse ermöglicht geringfügige Anpassungen kontrollierbarer Parameter und liefert Informationen für die Erschütterungsprognose.*

- Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe

Die maximale Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe als kontrollierbarer Parameter ist die wichtigste Einflussgröße der Sprengerschütterungen.

Fazit: *Reduktion der Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe reduziert die Sprengerschütterungen. Z.B. geringerer Bohrlochdurchmesser, kürzere Bohrlöcher, geteilte Ladesäule, Bohrlöcher separat zünden*

- Entfernung der Sprengstelle

Die Schwinggeschwindigkeit und die Frequenz der Bodenwelle nehmen mit der Entfernung ab. Niedrigere Frequenzen wirken sich auf Gebäude schädlicher aus als hohe Frequenzen, wobei die Eigenfrequenz des Gebäudes zur Resonanzkatastrophe führen kann.

Fazit: *Die Vergrößerung der Entfernung der Sprengstelle zu Anwohnern ist nur begrenzt möglich und trägt somit wenig Optimierungspotential.*

- Spezifische Sprengstoffmenge

Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Verringerung der spezifischen Sprengstoffmenge (kg/m^3) um 20% zu Sprengerschütterungen in doppelter bis dreifacher Größenordnung führen. Gründe dafür sind zu große

Einspannung und nicht ausreichende räumliche Verteilung des Sprengstoffs.

Fazit: In Bezug auf die spezifische Sprengstoffmenge ist das Optimum zu finden, bei dem Sprengerschütterungen ihr Minimum haben.

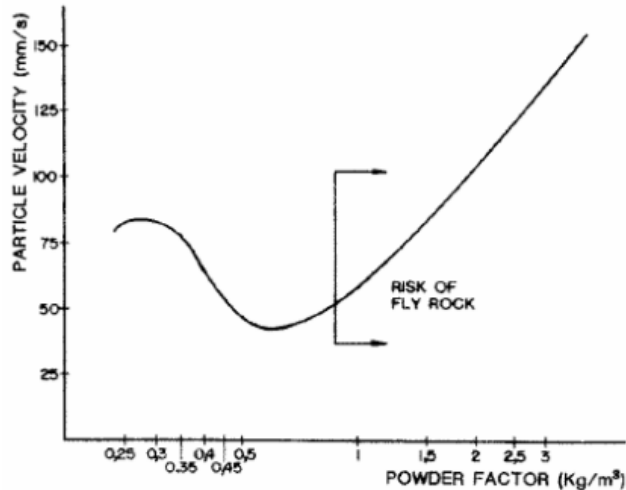


Abbildung 24: Einfluss der spezifischen Sprengstoffmenge auf die Schwinggeschwindigkeit (Lopez Jimeno 1987, S.335)

- Sprengstofftyp

Sprengstoffarten, welche geringere Drücke im Bohrloch entwickeln, führen zu geringeren Erschütterungswerten. Derartige Typen charakterisieren sich durch ihre geringe Sprengstoffdichte und Detonationsgeschwindigkeit, als Beispiel ANFO.

Fazit: Eine Änderung des Sprengstoffes könnte die Erschütterungen reduzieren, jedoch zu anderen Problemstellungen führen.

- Verzögerung

Bei den Verzögerungszeiten sind nominelle und effektive Werte zu unterscheiden. Die effektive Verzögerung ist von nomineller Verzögerung, Seitenabstand der Sprenglöcher, Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen und Winkel zwischen Zündrichtung und Luftlinie zum Messgerät abhängig.

Fazit: Das Anwendungspotential wird als gering eingestuft, da unter anderem die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Gebirge stark variiert und nicht bestimmt werden kann. Jedoch haben Untersuchungen gezeigt, dass nominelle Verzögerungen >25ms die Überlagerung der Bodenwellen verringern.

- Bohrlochdurchmesser

Durch die Verringerung des Bohrlochdurchmessers wird die Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe reduziert, was zu geringeren Erschütterungen führt.

Fazit: Die Verkleinerung des Bohrlochdurchmessers würde neue Bohrausrüstung benötigen und ist deshalb kritisch zu betrachten.

- Etagenhöhe

In der Literatur wird angegeben, mit einem Etagenhöhe/Vorgabe-Verhältnis >2 ein optimales Zerkleinerungsverhältnis bei niedrigen Erschütterungswerte erreichen zu können. Dies ist darauf zurück zu führen, dass der Anteil des Wandfußes an der Bruchwand gering gehalten werden muss, da hier ein ungünstiger Einspannungszustand herrscht. Beispiel: Bei einer Vorgabe von 3,5m ergibt sich eine minimale Bruchwandhöhe von 7m.

Fazit: Dieses Kriterium ist aktuell nicht in jeder Sprengung erfüllt. Dieser Punkt kann durch geringe und einfache Anpassungen umgesetzt, und deren Wirkung beurteilt werden.

- Vorgabe und Seitenabstand

Wenn die Vorgabe zu groß gewählt wird, wird ein höherer Anteil der Energie des Sprengstoffs, durch zu hohe Einspannung, zu Bodenwellen transformiert, was zu höheren Erschütterungen führt. Laut der nachstehenden Abbildung sind die Erschütterungen ab einem Vorgabe/Bohrlochdurchmesser-Verhältnis <40 als mittel bzw. gering eingestuft. Bei einem Bohrlochdurchmesser von 90mm bedeutet dies eine maximale Vorgabe von 3,6m um mittlere Erschütterungen zu erreichen. Bei einer Vorgabe von etwa 1,8m werden die Erschütterungen noch geringer, die Schallemissionen und das Risiko für Steinflug als hoch eingeschätzt.

Fazit: Die Vorgabe kann ohne großem Aufwand adaptiert, und das

Wirksamkeit dieses Verhältnissen leicht überprüft werden.

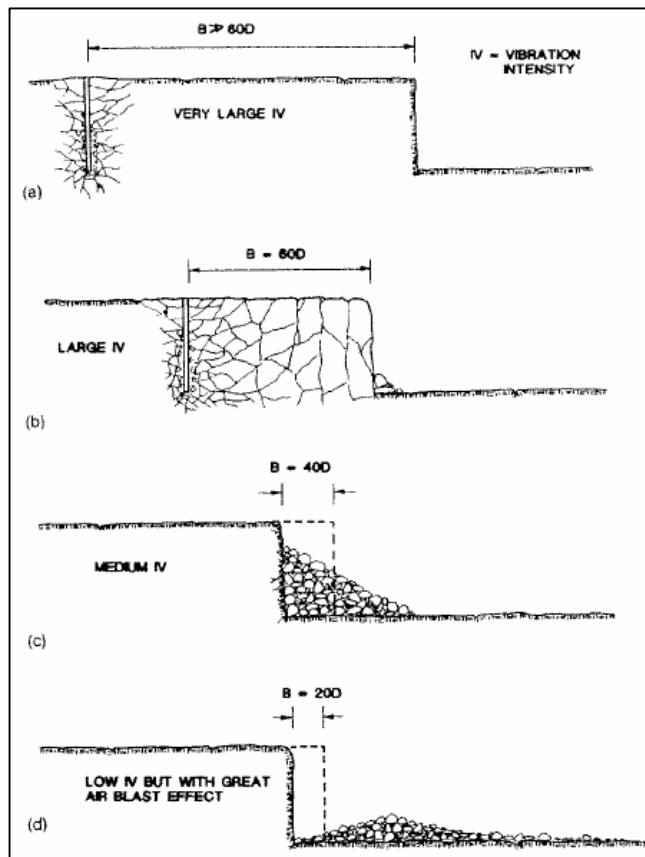


Abbildung 25: Einfluss der Vorgabe auf die Höhe der Sprengerschütterungen (Lopez Jimeno 1987, S.337)

- Unterbohrung
Die Länge der Unterbohrung sollte so gering als möglich gewählt werden, um Erschütterungen gering zu halten. Die Unterbohrung sollte jedoch ausreichend sein, um die Regelmäßigkeit der Bodenbeschaffenheit zu gewährleisten.
- Besatz
Zu lange Besatzlängen wirken als Einspannung und können die Sprengerschütterungen erhöhen.
- Bohrlochneigung
Geneigte Bohrlöcher erlauben eine bessere Ausnutzung der Energie und verursachen somit geringere Erschütterungen. Nur bei idealer Bohrlochneigung von 45° (siehe Abbildung 26 c) wird die

gesamte Druckwelle an der Bruchwand reflektiert und beansprucht das Gebirge auf Zug- und Scherfestigkeit. Derartige Bohrlöcher sind allerdings schwieriger zu bohren, die Gefahr des Verlaufs ist größer, patronierter Sprengstoff gleitet nicht mehr selbstständig in die Bohrlöcher, die Unebenheiten der Sohle nimmt zu und führt zu Erschwernissen bei der Wegladearbeit. (Vgl. Wild 1984, S. 250)

Fazit: Je größer die Neigung des Bohrlochs, desto aufwändiger das Bohren.

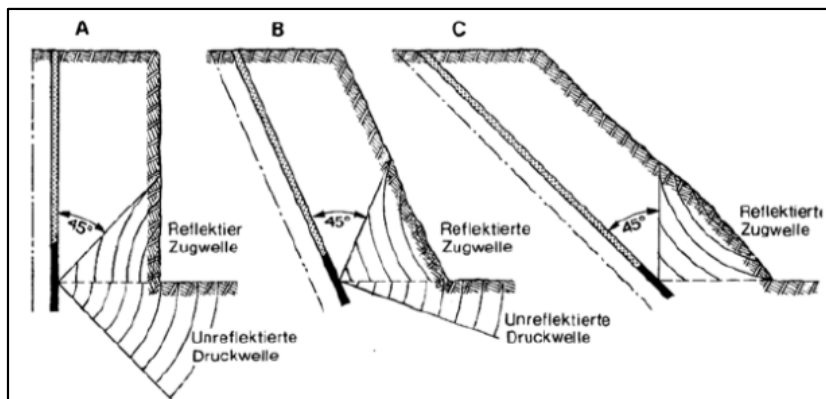


Abbildung 26: Einfluss der Bohrlochneigung auf die Ausbreitung von Bodenwellen (Wild 1984, S.250)

(Vgl. Lopez Jimeno 1987, S.333-337)

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Reduktion von Sprengerschütterungen ein natürliches Limit gesetzt ist. Unabhängig von der Exaktheit der Zünder (geringe Standardabweichung) haben geologische Gegebenheiten und die relative Distanz zwischen Sprengstelle und Messstelle einen großen Einfluss auf die Schwinggeschwindigkeit, welcher nicht beeinflusst werden kann. Der Einsatz von elektronischen Zündern bietet eine beträchtliche Anzahl an Dimensionierungsmöglichkeiten für große Sprengungen mit einer Vielzahl an Bohrlöchern. Dieser, vorhin angesprochenen Limitation durch natürliche Gegebenheiten sind elektronische Zünder jedoch im gleichen Maß ausgesetzt wie pyrotechnische Zünder. Deshalb wird für die Minimierung von Erschütterungen eine Abänderung des pyrotechnischen Zündschemas inklusive Verzögerungszeiten empfohlen, bevor der Einsatz von kostenintensiven elektronischen Zündern in Betracht gezogen werden sollte.

(Vgl. Blair 2010, S. 182)

Da nicht jeder dieser aufgezeigten Parameter ein realistisches Optimierungspotential in sich birgt, und viele nur der Vollständigkeit halber angeführt sind, wird im nächsten Kapitel auf die Einsatzfähigkeit der oben genannten Parameter eingegangen.

8.2.2 Optimierungspotential des aktuellen Abbaugeschehens

Subjektive Auffassung von Belästigung

Die Entstehung von Sprengemissionen und die Ausbreitungscharakteristik von Boden- und Luftwellen ist ein durchwegs komplexes Thema, welches nicht durch einfache Zusammenhänge vollständig beschrieben und erklärt werden kann. Die Beurteilung der Intensität der Sprengemissionen wird im Vergleich dazu als hochkomplex eingestuft. Der Grund dafür ist die subjektive Auffassung der Belästigung durch das menschliche Individuum, welche nicht durch Zahlen und Fakten gemessen oder beeinflusst werden kann. Die Toleranzgrenze gegenüber Sprengemissionen von verschiedenen Menschen kann nicht vereinheitlicht, und deren Veränderung, respektive deren Hinaufsetzung, nur sehr schwer bis gar nicht erreicht werden. Um an dieser Stelle Veränderungen zu bewirken, ist ein sorgfältiger und psychologisch behutsamer Umgang mit den Anwohnern notwendig.

Zum Beispiel könnten Erschütterungsmessungen durch eine externe Firma vorgenommen werden, um das Vertrauen der Anwohner in die Aufrichtigkeit von JCF zu erhöhen.

Aufzeichnung und Auswertung des Sprengbetriebs

Während der Durchführung dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass die Prognose von Sprengerschütterungen aufgrund unzureichender Sprengdokumentation nur in einer Bandbreite möglich ist. Die Grundlage der Prognose ist die Kenntnis über die Zusammenhänge und Wirkungen der verschiedenen Parameter auf die Sprengerschütterungen. Da die Sprengdokumentation allerdings nicht alle relevanten Daten erfasst bzw. zum Teil nur Durchschnittswerte oder Rückrechenwerte, aber auf keinen Fall Realwerte beinhaltet, waren keine ausreichenden Erkenntnisse über deren Zusammenspiel möglich. Zusätzlich wurden in der Vergangenheit zahlreiche Versuche durchgeführt, welche jedoch nicht als solche gekennzeichnet sind. Im Großen und Ganzen ist zu sagen, dass aus den Sprengdokumentationen der tatsächliche Sachverhalt der Sprengung nicht ersichtlich ist.

Um den Zusammenhang der Sprengparameter in Bezug auf die Erschütterungen in Zukunft bestimmen zu können, muss eine realitätsgetreue Aufzeichnung der Sprengungen betrieben werden. Diese Aufzeichnungen bieten eine Grundlage für Prognoseberechnungen und Optimierungstätigkeiten auf Basis von Zahlen und Fakten.

Für zukünftige Versuchsdurchführungen wird empfohlen, diese in einem systematischen und gut dokumentierten Weg durchzuführen. Die Versuche sollen einzeln über einen längeren Zeitraum hinweg durchgeführt und danach ausgewertet werden. Nach jeder Einzelversuchsreihe kann die Wirksamkeit jeder Parameteränderung erkannt und bewertet werden.

Die Durchführung einer Bohrlochvermessung könnte zusätzlich Aufschluss über die Qualität des Bohrlochs geben. Mit Hilfe dieser Methode können Hohlräume im Bohrloch, Abweichungen und die Unterbohrung bestimmt werden. In Kombination mit einem Bruchwandvermessungssystem kann es für die Sprengplanung herangezogen werden, und die Parameter können so individuell auf die Bruchwand angepasst werden, was zu geringeren Emissionen und optimiertem Zerkleinerungsergebnis führt. Die Kontrolle der Sprenggeometrie sollte generell ein primäres Ziel darstellen, denn nur so kann sichergestellt werden, dass der Einfluss der Sprenggeometrie im bekannten Ausmaß liegt.

Ich möchte hier darauf hinweisen, dass ohne die Auswertung dieser Daten deren detaillierte Aufzeichnung keinen Nutzen findet. Es besteht die Gefahr, dass das Verständnis und die Motivation der Mitarbeiter bezüglich dieser Dokumentation relativ rasch absinkt, was wiederum keinen Raum für Optimierungen lässt.

Für die Auswertung der Erschütterungsdaten wird ein ganzheitlicher Ansatz empfohlen. Es muss hier eine relativ gesehene Beurteilung der Erschütterungswerte in Bezug auf Bohr- und Sprengparametern und anderen Bedingungen (z.B. Distanz, Topografie, meteorologische Bedingungen) eingesetzt werden, wofür eine ständig wachsende Datenbank empfohlen wird. Beispiel: Eine gemessene Schwinggeschwindigkeit von 1mm/s kann ohne weitere Informationen nicht als niedrig oder hoch eingestuft werden. Es macht einen erheblichen Unterschied, ob dieser Wert in 50m oder 500m Entfernung gemessen, und eine Sprengstoffmenge von 2kg oder 90kg eingesetzt wurde.

Bohr- und Sprengparameter

Die Analysen der Sprengerschütterungen haben gezeigt, dass eine geringere Kubatur, mehr Sprengstoff pro Zündzeitstufe, mehr spezifische Ladung, weniger Vorgabe, weniger Seitenabstand, weniger Bohrlöcher und weniger Reihen zu niedrigeren Erschütterungen geführt haben. Obwohl diese Zusammenhänge die Erschütterungen nicht zu 100% erklären, bieten sie ein beträchtliches Optimierungspotential, welches durch Versuche zum Einsatz gebracht werden sollte.

Als weiterer Anhaltspunkt für die Minimierung von Erschütterungen sollte das Vermeiden von 30m hohen Bruchwänden sein. Das Sprengen dieser sehr hohen Bruchwände hat höhere Erschütterungen hervorgerufen als geringere Etagenhöhen, da sich mehr Sprengstoff in den Bohrlöchern befindet. Der Einfluss von hohen Bruchwänden ist bereits an Bruchwänden mit 10m Höhe zu erkennen, weshalb generell geringere Bruchwände anzustreben sind. Allgemein ist darauf zu achten, dass die Zündrichtung entgegen der nächsten Anwohner gerichtet ist, um eine Kompression der Bodenwellen zu vermeiden.

Versuche mit elektronischen Zündern haben in der Vergangenheit kein positives Ergebnis erbracht. Da aber nur zwei Versuche durchgeführt wurden, kann das Ergebnis auf Zufällen basieren. Die Exaktheit der elektronischen Zünder birgt auf jeden Fall ein Optimierungspotential für die Erschütterungsminimierung. Dennoch wird dem Einsatz von elektronischen Zündern im Steinbruch kein überdimensionales Potential zugeschrieben, da der Einfluss der Geologie diesen Vorteil zunichtemachen kann (siehe Kapitel 8.2.1).

Tatsächlich gesehen stehen drei Möglichkeiten für die Optimierung zur Verfügung, deren Aufwand von 1. bis 3. zunimmt:

1. Änderung der Bohrgeometrie

1.1. Vorgabe-Bohrlochdurchmesser-Verhältnis

$$20 < \frac{V}{d} < 40$$

Der derzeit verwendete Bohrlochdurchmesser beträgt 90mm, wofür sich folgende Grenzen für die Vorgabe ergeben

$$3,6m < V < 1,8m$$

Wie im theoretischen Teil beschrieben, nehmen die Erschütterungen mit kleinerer Vorgabe ab. Wird das V/d-Verhältnis allerdings kleiner 20, besteht erhöhte Steinfluggefahr und es ist mit übermäßiger Schallbelastung zu rechnen. Da Steinflug ein tödliches Risiko darstellt, wird von diesem Zustand abgeraten. Empfohlen werden hier Versuchsreihen mit verschiedenen Vorgaben innerhalb dieser Grenzen ohne das Steinflugrisiko zu erhöhen.

1.2. Bruchwandhöhe-Vorgabe-Verhältnis

$$\frac{H}{V} > 2$$

Für die oben genannte Bandbreite der Vorgabe ergeben sich folgende Werte für die Etagenhöhe

$$H > 2 * 3,6 = 7,2m$$

$$H > 2 * 1,8 = 3,6m$$

Die Bruchwandhöhe sollte mindestens der doppelten Vorgabe entsprechen, um den Anteil des Etagenfußes, und damit der Verspannung gering zu halten.

1.3. Keine Unterbohrung bzw. Unterbohrung nicht laden

Theoretisch führt die Verwendung einer Unterbohrung zu höheren Erschütterungen, praktisch ist jedoch in manchen Fällen eine Unterbohrung aus Sicherheitsgründen (Sohlbeschaffenheit) notwendig. Eine Möglichkeit ist hier die Verwendung von Air Decks in der Unterbohrung und das Laden des Bohrlochs ab Sohlenniveau. Um die Größe der Unterbohrung bestimmen, und sie dadurch regulieren zu können, sind ausreichende Vermessungen notwendig, da die Wandhöhe eines Abschlages nicht konstant ist.

2. Änderungen auf Seiten des Sprengstoffes

2.1. Geteilte

Ladesäule

Um den Sprengstoff besser im Bohrloch zu verteilen, wird eine geteilte Ladesäule empfohlen. Je nach Bruchwandhöhe kann die Ladesäule zwei bis drei Mal geteilt und separat gezündet werden.

2.2. Optimum des spezifischen Sprengstoffverbrauchs finden

Wie in Abbildung 24 zu sehen ist, gibt es eine minimale Sprengstoffmenge pro Volumen um das Gebirge aus dem Verband zu lösen. Jedes Gebirge charakterisiert sich durch andere Werte, was eine Versuchsreihe notwendig macht, anhand derer ein ähnliches Diagramm erstellt werden kann.

3. Änderung der Verzögerungszeiten und des Zündschemas

Für eine Änderung der Verzögerungszeiten und des Zündschemas gibt es unzählige Möglichkeiten. Die Verzögerungszeiten sind so zu wählen, dass sich die Bodenwellen so wenig als möglich überlagern. Das Zündschema ist so zu wählen, dass das Öffnen der Sprenganlage mit geringer Einspannung erfolgt. Bevor hierfür auf elektronische Zünder gewechselt wird, wird eine Versuchsreihe mit NONEL-Zündern empfohlen, da diese kostengünstiger sind und die Handhabung einfacher und bekannt ist.

Der Zünderhersteller NONEL hat einige Empfehlungen für geteilte Ladesäulen abgegeben:

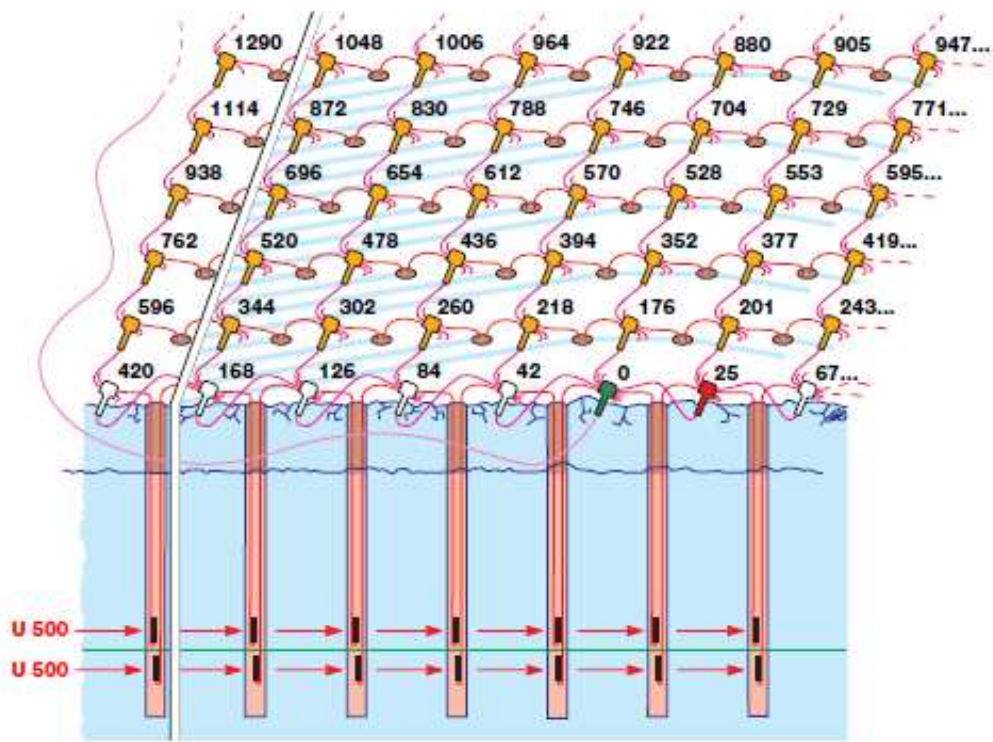


Abbildung 27: Zündschema 1 für zwei-geteilte Ladesäule
(http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf)

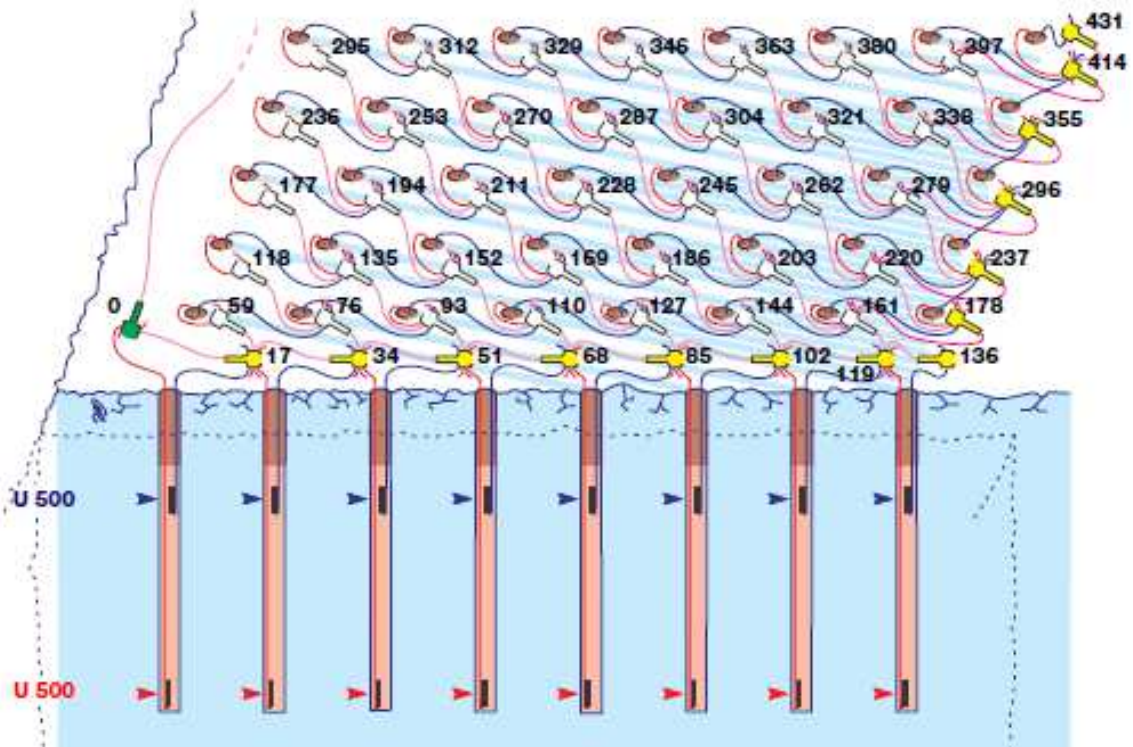


Abbildung 28: Zündschema 2 für zwei-geteilte Ladesäule
http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5_NONEL_.pdf

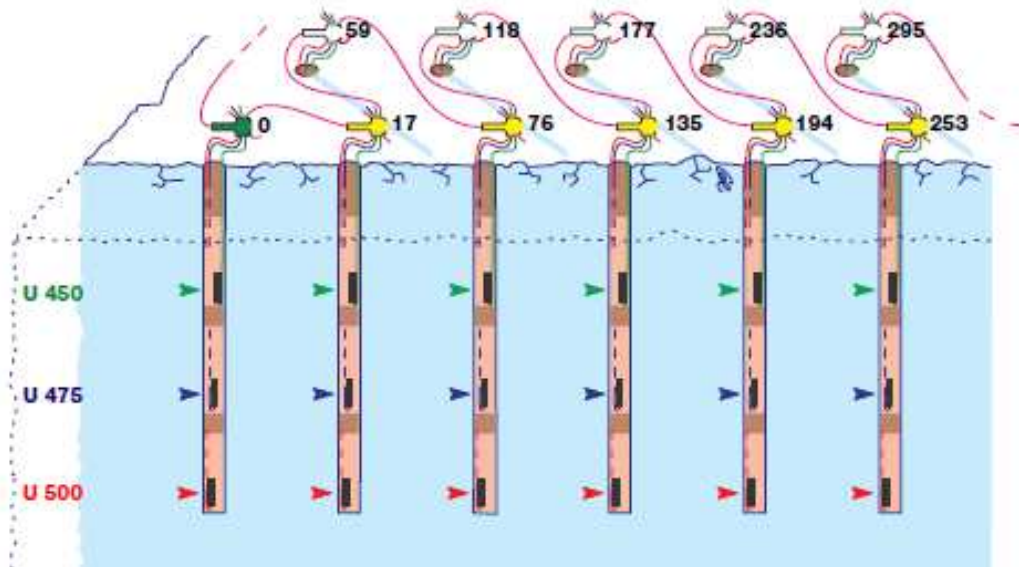


Abbildung 29: Zündschema 3 für drei-geteilte Ladesäule
http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5_NONEL_.pdf

Für den Optimierungsprozess des Steinbruchs der JCF wird nachstehende Vorgangsweise empfohlen:

REIHENFOLGE	MAßNAHME	
1.	Geteilte Ladesäule	Je nach Bruchwandhöhe zwei- bzw. drei-geteilt
2.	Unterbohrung mit Air Deck oder keine Unterbohrung	Bruchwandvermessung essentiell
3,	Vorgabe-Durchmesser-Verhältnis	Versuche für Vorgaben zwischen 1,8m und 3,6m.
4.	Versuche mit Verzögerungen	Unterschiedliche Verzögerungszeiten und Schema
GENERELL	Bruchwandhöhe-Vorgabe-Verhältnis beachten	H/V>2

Tabelle 23: Empfohlene Reihenfolge der Maßnahmen zu Optimierung

Der Fortschritt der Optimierung ist nur durch begleitende Messungen, Dokumentation und Auswertungen erkennbar.

In den letzten Jahren wurden keine Reklamationen des Sprengschalls vermerkt. Die in dieser Arbeit durchgeführten Schallmessungen lassen allerdings die Existenz von Air Blast vermuten, welcher häufig als Erschütterung identifiziert wird. Aktuell werden keine Messungen des Sprengschalls durchgeführt, weshalb kein systematischer Ansatz für die Reduktion von Sprengschall möglich ist. Allgemein wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Optimierung des Sprengbetriebs durch Anpassung der Sprengparameter, für die Reduktion von Erschütterungen, auch zu einer Reduktion des Sprengschalls führt. Zusätzlich wird vom Einsatz von Sprengschnur abgeraten. An Bohrlöchern mit gewissen Bedingungen, an denen aktuell Sprengschnur eingesetzt wird, könnte stattdessen ein zusätzlicher Zünder eingesetzt werden. Die Anwendung muss jedoch situativ abgeschätzt werden.

8.3 Alternativen zum derzeitigen Abbaufahren

Die Prognose der Erschütterungen hat Bereiche identifiziert, in denen die Einhaltung von Grenzwerten als kritisch angesehen wird. Für die kritischen Bereiche soll der Abbau mit Bohren und Sprengen durch eine alternative, mechanische Methode ersetzt werden. Auf jeden Fall ist auf eine Minimierung der Abbauemissionen, Erschütterung und Schall, zu achten.

Um das schlechteste Szenario in Betracht zu ziehen, werden für weitere Untersuchungen die kritischen Bereiche des Worst Case für 3mm/s betrachtet. Zusätzlich zu den Erweiterungsgebieten im Westen und Osten des bestehenden Steinbruchs wird eine Erweiterung in die Tiefe erwogen. Abbildung 30 zeigt die gesamten Erweiterungsgebiete (orange), die kritischen Bereiche (rot) und zwei geologische Profile. Im Zuge des Abbaukonzeptes für die Abbauerweiterung (Schilling und Schuler 2014, S.Anhang3) wurden verschiedene geologische Profile erstellt. Die, im Bild dargestellten Linien werden für weitere Untersuchungen als repräsentativ für die jeweiligen kritischen Bereich angesehen.

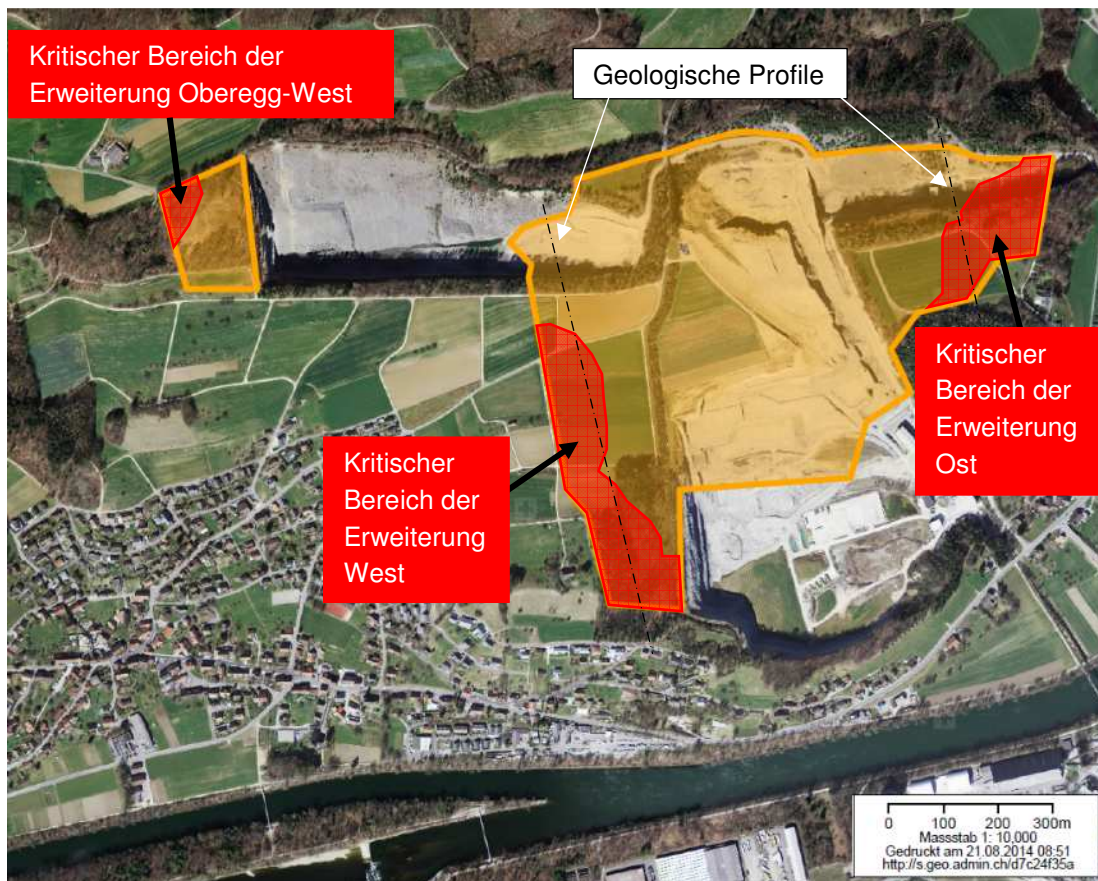


Abbildung 30: Gesamtes Erweiterungsgebiet

Kritischer Bereich der Erweiterung Oberegg-West

Es liegen keine geologischen Daten zu diesem Bereich vor, anzunehmen ist jedoch, dass sich der Haupttrogenstein, welcher im ehemaligen Gebiet „Oberegg“ abgebaut wurde, fortzieht. Für die folgenden Untersuchungen dieser Arbeit wird deshalb von kompaktem Kalkstein (Haupttrogenstein) mit einer Druckfestigkeit von bis zu 85MPa ausgegangen.

Kritischer Bereich der Erweiterung West

Abbildung 31 zeigt das geologische Profil durch diesen Bereich inklusive einer prozentuellen Auflistung der vorkommenden Schichten und deren Eigenschaften.

Kritischer Bereich:

- ca. 50% Obere Effinger Schichten
(Mergel und Kalkstein, UCS=30-60MPa für verwitterten Mergel)
- ca. 7,5% Gerstenhübelkalk
(geklüfteter Kalkstein, Bankung 0,6-1,0m, UCS=100-150MPa)
- ca. 25% Untere Effinger Schichten
(Mergel und Kalkstein, Bankung 0,4-0,6m, UCS=95-120MPa für verwitterten Mergel)
- ca. 7,5% Birnenstorfer Schichten
(Kalkstein, Bankung 0,6m)
- ca. 10% Hauptrogenstein
(kompakter Kalkstein, UCS=55-85MPa)

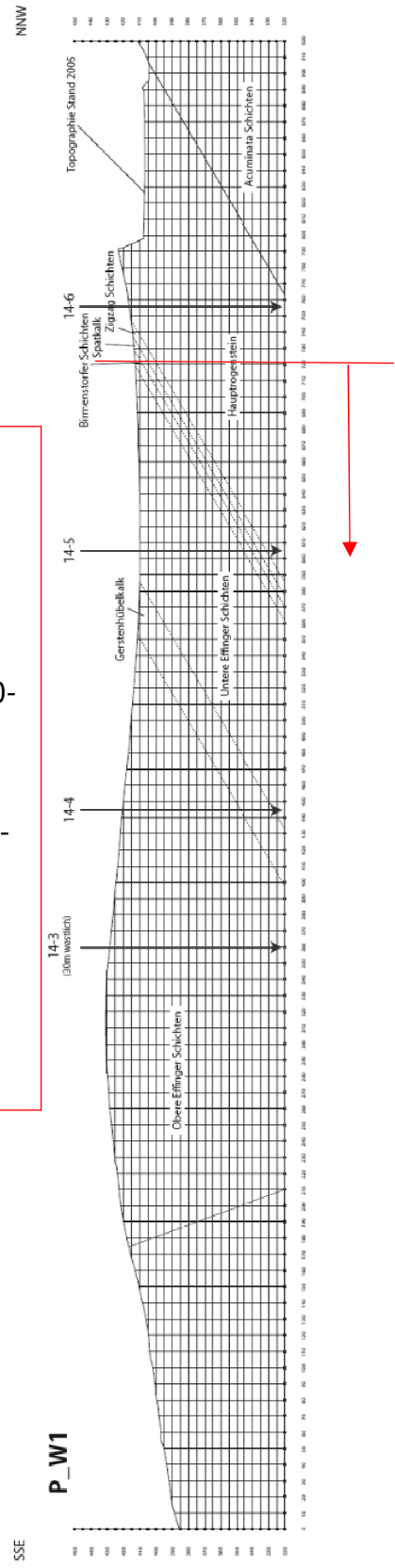


Abbildung 31: Geologisches Profil durch die Erweiterung West (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang3)

Kritischer Bereich der Erweiterung Ost

Der kritische Bereich der Erweiterung Ost setzt sich hauptsächlich aus kompaktem Kalkstein zusammen, siehe Abbildung 32.

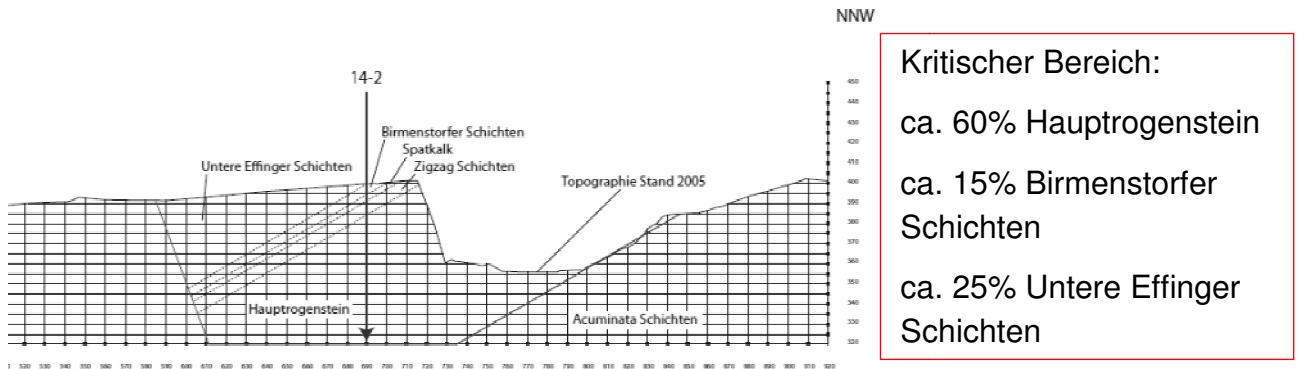


Abbildung 32: Geologisches Profil durch die Erweiterung Ost (Schilling und Schuler 2014, S. Anhang 2)

Insgesamt decken die kritischen Bereiche der Erweiterung 25-30% der projizierten Fläche der Gesamterweiterungsfläche ab. Für eine volumetrische Berechnung wird folgendes angenommen: Der Endzustand des aktuellen Steinbruchs sieht seine Sohle auf 355m ü. M. vor. Die geplante Absenkung soll bis auf eine Teufe von 320m ü. M. erfolgen. Mit den abgeschätzten Dimensionen des Steinbruchs 500m*400m und der Tiefenerstreckung von 35m ergibt sich ein geschätztes Volumen von 7.000.000m³. Die Höhe der unberührten Topografie der neuen Gebiete beträgt durchschnittlich 410m ü. M., und bei selber Endsohle wird hier eine größere Kubatur abgebaut. Die angenommenen Dimensionen der neuen Gebiete 700m*500m und Teufenerstreckung von 90m führen zu 31.000.000m³. Der Flächenanteil der kritischen Bereiche in den neuen Gebieten liegt bei etwa 50%, also ca. 15.500.000m³. Der prozentuelle Volumensanteil dieser 15.500.000m³ der kritischen Bereiche von den gesamten 38.000.000m³ liegt bei etwa 40%.

Die angegebenen Druckfestigkeiten wurden an Proben, welche direkt an der Bruchwand genommen wurden, bestimmt. Da dieser Bereich des Gebirges bereits einen gewissen Verwitterungsgrad und eine Vorschädigung durch Sprengen aufweist, ist die in situ Druckfestigkeit des Gebirge höher einzuschätzen. Für die Erweiterung in die Tiefe ist mit einer Zunahme der Druckfestigkeit zu rechnen, da

das Gebirge bei größerer Überlagerungstiefe höhere Festigkeiten aufweist. Da diese Annahme durch keine Proben unterstützt wird, werden für den weiteren Verlauf dieser Arbeit die vorhandenen Werte der Einaxiale Druckfestigkeit verwendet.

Für die alternative Abbaumethode gelten folgende betriebliche Bedingungen:

1. Flexibilität / Selektivität

Aufgrund der hohen Komplexität der Rohstoffanforderungen an die Zementproduktion ist ein selektiver Abbau der verschiedenen Gesteinsqualitäten von äußerster Wichtigkeit. Eine Regulierung bzw. Abänderung des zu fördernden Materials sollte innerhalb einer Stunde durchzunehmen sein, wodurch eine gewisse Menge an unterschiedlichem Material permanent zur Verfügung stehen sollte. Derzeitig setzt sich die Fördermenge aus zirka 40% hochwertigem Kalkstein (Hauptrogenstein und Gerstenhübel) und 60% Mergel und Mischungen von Kalkstein und Mergel zusammen. Für die Qualitätssteuerung wird aktuell das Bohrmehl beprobt und analysiert.

2. Leistung

Die benötigte Förderleistung des Steinbruchs beträgt in etwa 5000t/Tag. Bei einer durchschnittlichen Produktionszeit von 8h pro Tag (Gesamtarbeitszeit 8,75h/Tag) ergibt dies 625t/h. Mit den Annahmen üblicher Werte für Dichte ($2,5t/m^3$) und Auflockerungsfaktor (60%) errechnen sich hier etwa $250m^3/h$ bzw. $400m^3/h$. Da das Alternativverfahren nur als Zusatz zum Sprengbetrieb eingesetzt werden soll, kann die erforderliche Leistung des mechanischen Verfahrens reduziert werden. Die kritischen Bereiche decken in etwa 40% der Erweiterung ab. Da die Bevölkerung dem Sprengbetrieb kritisch gegenüber steht und eine Vergrößerung des mechanischen Abbaubereichs fordern könnte, wird die zu leistende Produktion durch die alternativen Abbauverfahren auf 50% der Gesamtleistung gesetzt. Daraus ergibt sich wie folgt: 2500t/Tag --> 313t/h --> $125m^3/h$ --> $200m^3/h$

3. Zerkleinerung

Beide Brecher nehmen eine Leistung von ca. 700t/h bei Maximalkorngrößen von 1m auf. Der Brecherausgang definiert sich durch die Fraktion 0/80mm mit 10% Überkorn. Der Feinanteil ist auf jeden Fall gering zu halten, da dieser einen negativen Einfluss für die weitere Aufbereitung hat.

4. Emissionen

Erschütterungen sollen gegenüber einem Sprengbetrieb deutlich reduziert werden, aber auch die Belastung durch Lärm und Staub sollen gering gehalten werden.

Daten für Beurteilung eines mechanischen Abbaus

Um die Einsatzmöglichkeit eines mechanischen Abbaus zu prüfen muss eine Vielzahl von Parametern zur Verfügung stehen. Um Rip&Load bzw. Reißen und Abschieben anwenden zu können, muss das Gebirge eine ausreichende Reißbarkeit aufweisen.

Für die Beurteilung dieser Reißbarkeit steht eine Vielzahl von Bewertungsmethoden zur Verfügung. Grundsätzlich werden diese in direkte und indirekte gegliedert:

- Direkte Verfahren zur Ermittlung der Reißbarkeit
Reale Reißversuche ermöglichen die zuverlässigste Aussage über die Reißbarkeit, das Reißprodukt und die Produktivität.
- Indirekte Verfahren zur Ermittlung der Reißbarkeit
In Situationen, in denen reelle Versuche nicht möglich sind, wird die Reißbarkeit indirekt, auf Basis der Gesteins- und Gebirgsparameter bestimmt. Hierfür stehen mehrere Ansätze zur Verfügung:
 - Seismische Wellenausbreitungsgeschwindigkeit
In einer Vielzahl an Literatur und Herstellerinformationen finden sich Tabellen zur Beurteilung der Reißbarkeit, basierend auf der P-Wellenausbreitungsgeschwindigkeit des Gebirges.
 - Graphische Methoden

Diese Verfahren benötigen keine Feldversuche, die Reißbarkeit wird anhand Point Load Test Index und Kluftabstand bestimmt.

- Bewertende Methoden

Die Reißbarkeit wird durch die separate Beurteilung verschiedener Parameter, welche an die Gebirgsgüteklassifikationen angelehnt sind, ermittelt. In den meisten dieser Bewertenden Methoden wird den Faktoren Einaxiale Druckfestigkeit und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Haupteinfluss auf die Reißbarkeit zugeschrieben.

(Vgl. Basarir 2004, S.181f)

In der Praxis werden häufig seismische Untersuchungen als zuverlässigste Beurteilungsmethode, relativ zum Aufwand, eingesetzt. Eine solche Untersuchung kann z.B. zeigen, dass auch Basalt mit hoher Druckfestigkeit bei ausreichender Klüftigkeit reißbar ist.

An dieser Stelle der Arbeit stehen für die Bewertung der Reißbarkeit folgende Informationen zur Verfügung.

- Wage Prognose der geologischen Schichtverläufe
- Druckfestigkeit von bereits verwittertem oder vorgeschädigtem Material durch Sprengungen (Probenahme direkt an Bruchwand und nicht repräsentativ)
- Optische Beurteilung der Klüftigkeit (vorgeschädigtes Gebirge an der Bruchwand)

Für eine zuverlässige Einschätzung der Reißbarkeit und den erreichbaren Reißleistungen müssten weitere Tests durchgeführt werden. Da das Gebirge an der Bruchwand durch vorhergehende Sprengungen vorgeschädigt und eventuelle verwittert ist, kann es nicht als repräsentativ für die gesamte Schicht angesehen werden. Es ist hier notwendig das ungeschädigte, anstehende Gebirge einer seismischen und geomechanischen Analyse zu unterziehen.

Für die Berechnungen der nachstehenden Kapitel wird folgendes angenommen:

- Personalkosten 75CHF/h
- Diesel 1,8CHF/l

8.3.1 Reißen und Abschieben

Seit Juli 2008 besitzt JCF einen Kettendozer D11T der Firma Caterpillar, ausgerüstet mit einem SU Schild und einem Einzahnaufreißer, welcher im Vergleich zum Sprengen nur wenig im Einsatz ist.

Aktuell werden verwitterte Mergelschichten durch Abschieben mit dem Kettendozer abgebaut. Einige härtere Schichten dieser Abbaustellen werden durch Bohren und Sprengen von Großbohrlöchern vorzerkleinert, wobei das Gestein durch diese Vorzerkleinerung beinahe ganz aus dem Verband gelöst ist. Eine ausreichende Vorzerkleinerung ist für die Arbeitssicherheit von wesentlicher Bedeutung. Ohne diese Vorzerkleinerung werden härtere Einschlüsse im Mergel, teils in großen Stücken herausgelöst, was ein unebenes Terrain nach sich zieht. Diese Unebenheiten können direkt, im Zuge der Fortbewegung, und indirekt, in der folgenden Sprengarbeit, ein Sicherheitsrisiko darstellen. Der Reißzahn wird aktuell nur sehr selten und für Randanwendungen verwendet, da das, durch Sprengen gelöste Material leicht abgeschoben werden, und erfahrungsgemäß eine größere Löskraft durch das Schild übertragen werden kann.

Aus Gesprächen und Informationsmaterial von Caterpillar ist zu entnehmen, dass Reißen mit Dozer gegenüber Reißen mit Hydraulikbagger einige Nachteile hat.

- Ein Dozer benötigt viel Platz zum Manövrieren um den Reißzahn optimal einzusetzen. Für den Einsatz in einem Steinbruch mit Etagen ist daher ein Hydraulikbagger besser geeignet.

- Ein Dozer kann das gelöste Material eine gewisse Distanz weit abschieben, das Laden muss jedoch von einer separaten Maschine übernommen werden. Durch die Möglichkeit, den Reißzahn eines Hydraulikbaggers innerhalb von Sekunden durch eine Schaufel zu ersetzen, kann das Material sofort und an Ort und Stelle geladen werden. Hierfür ist keine zusätzliche Maschine und Personal notwendig, was Kosten spart.
- Einem Hydraulikbagger ist es erlaubt unterschiedliche Angriffswinkel und Stellen für das Reißen zu wählen. Schwächezonen können so gezielt ausgenutzt, und Gebirge welches für einen Dozer eventuell nicht reißbar wäre, gelöst werden.
- Das Lösen erfolgt bei Dozeranwendungen durch Zugkraft, bei Hydraulikbaggeranwendungen können hingegen zusätzlich Penetrationskräfte genutzt werden.
- Das Reißen durch einen Dozer führt zu einem größeren Feinanteil.

(Vgl. Caterpillar)

Als Fazit des vorangehenden ist zu bemerken, dass ein Reißen und Abschieben mit einem Dozer in gleichmäßigen, weichen Schichten ohne härtere Einschlüsse, und an großen Flächen eingesetzt werden kann. Da die Ausstattung für ein Reißen mit Dozer im Steinbruch seit Jahren zur Verfügung steht, der Dozer jedoch nur etwa 15% seiner Einsatzzeit mit Reißen verbringt, und der Einsatz in einem Steinbruch als weniger vorteilhaft eingestuft wird, wird von dieser Alternative abgeraten. Zusätzlich wurde im Zuge des Projektes „What else?“ beschlossen, diese Alternative nicht weiter zu betrachten.

Das Reißen und Abschieben mittels Kettendozer wird in dieser Arbeit nicht weiter untersucht.

8.3.2 Rip&Load

Rip&Load ist eine Applikation, bei der ein Hydraulikbagger mit einem Reißzahn bzw. einer Tieflöffelschaufel bestückt ist. Nachdem das Material durch Reißen gelöst wurde, wird der Reißzahn in kürzester Zeit mit Hilfe einer Schnellwechseleinrichtung durch eine Schaufel ersetzt und das Material kann geladen werden.

Als Lieferant in spe wird Caterpillar für Informationsbeschaffung herangezogen. Teile der Aussagen in diesem Kapitel stammen aus Gesprächen mit Caterpillar bzw. haben durch Caterpillar Bestätigung gefunden.

Als primäres Einsatzkriterium muss das Gebirge folgende Eigenschaften aufweisen:

- Ausgeprägte Schichtung
- Zahlreiche Störungsflächen
- Verwitterte und wasserdurchlässige Schichten
- Brüchigkeit
- Geringe Druck- und Zugfestigkeit
- Geringe Wellenausbreitungsgeschwindigkeit

(Vgl. Caterpillar 2004)

Dies bedeutet, dass Rip&Load nur in weichen und/oder zerklüfteten Bereichen, nicht aber in den harten und kompakten eingesetzt werden kann. Eine Möglichkeit, Störungen künstlich herzustellen, ist der Einsatz von Auflockerungssprengungen.

Die Firma Caterpillar setzt bei der Reißbarkeitsbeurteilung auf die Aussagekraft der seismischen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit, und hat dafür diverse Grafiken entwickelt. Tabelle 24 zeigt die Auswirkung der Ausbreitungsgeschwindigkeit in unterschiedlichen Gesteinen, und beurteilt in welchen Bereichen diese reißbar sind. Daraus ist ersichtlich, dass Kalkstein ab einer Wellengeschwindigkeit von etwa 3600m/s als nicht reißbar eingestuft wird.

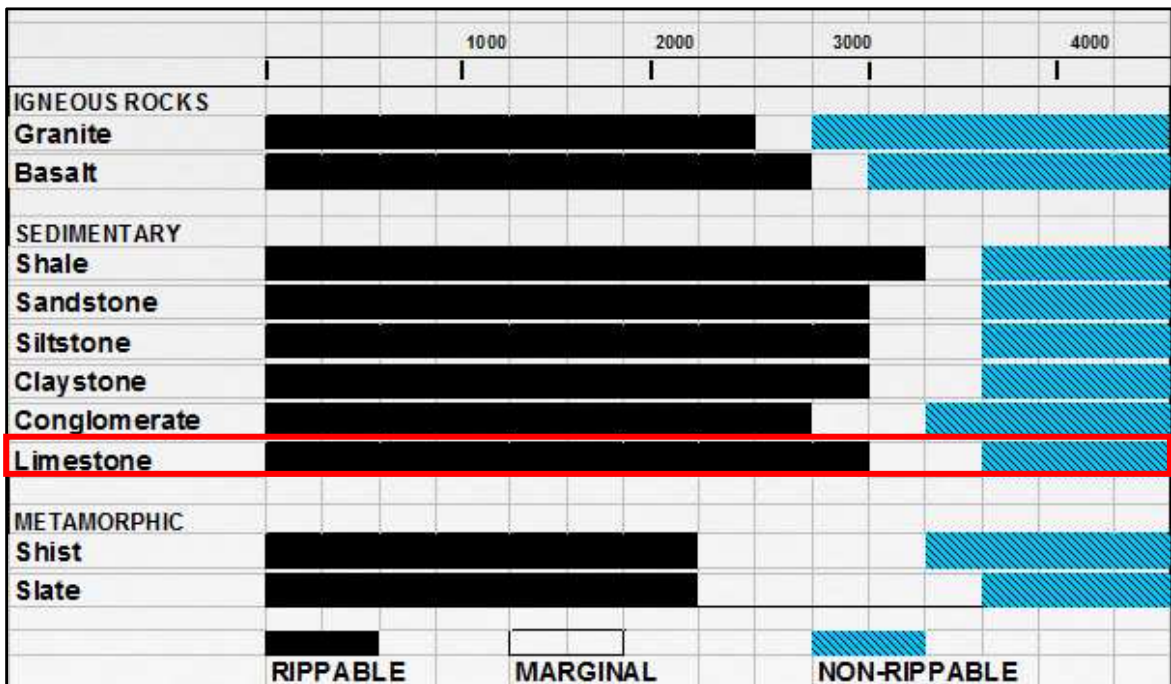


Tabelle 24: Reißbarkeitsbeurteilung nach seismischer Ausbreitungsgeschwindigkeit (Caterpillar)

Betriebliche Voraussetzungen

1. Flexibilität / Selektivität

Der Abbau durch Rip&Load zählt, im Gegensatz zum Sprengen, unter die Kategorie kontinuierlicher Abbau, was eine grundsätzliche Reduktion der Flexibilität mit sich zieht. Um dieselbe Flexibilität als beim Sprengen zu erreichen, und durchschnittlich vier Abbaustellen für die komplexe Mischung bereit zu stellen, sind für eine Rip&Load Anwendung mehrere Maschinen notwendig. Da in dieser Aufgabenstellung nur eine Teilsubstitution des Sprengens betrachtet wird, ist es möglich mit 50% Rip&Load und einem gewissen Maß an operativer Planung die Ansprüche an die Flexibilität zu erfüllen. Für das Wechseln von Arbeitsstellen benötigt ein Hydraulikbagger ein Vielfaches länger als ein Radlader, welcher nach kurzer Anfahrtszeit das gesprengte Gebirge laden kann. In einer reinen Reißkonfiguration wäre ein andauerndes Löse an verschiedenen Abbaustellen und unabhängig davon flexibles Laden möglich. Hierfür ist auf die Verwitterung des Mergels zu achten, welche bei längerer Lagerung

im Freien auftritt, und weitere Untersuchungen zum Thema Leistungsfähigkeit und Anwendungsmöglichkeit durchzuführen.

Da ein Hydraulikbagger sehr selektiv arbeitet und das Herauslösen von Findlingen und großen Blöcken kein Problem darstellt, ist diese Einsatzbedingung erfüllt.

Da für die Qualitätssteuerung kein Bohrmehl anfällt, müsste ein neuer Probenahmeprozess entwickelt werden.

2. Leistung

Die Leistungsfähigkeit ist stark von den Materialeigenschaften und Maschinengröße abhängig. Mit einem 100t Hydraulikbagger können in gut geklüftetem Kalkstein bis zu 500-600t/h abgebaut werden. Bei geringerer Klüftigkeit sinkt diese jedoch drastisch ab. In Anbetracht der erforderlichen Produktion und den geologischen Verhältnissen ist es notwendig die kompakten Schichten durch Auflockerungssprengungen vor zu schwächen. Genauere Abschätzungen des Sprengaufwandes und der erreichbaren Leistungen ist am derzeitigen Informationsstandpunkt jedoch nicht möglich. Um Aufschluss über Leistungsfähigkeit, Auflockerungsaufwand und die daraus resultierenden Kosten zu bekommen, sind seismische Untersuchungen und die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des In-Situ Gebirges, oder ähnliche Untersuchungen, notwendig.

Da in diesem Kapitel lediglich der Einsatz in den kritischen Bereichen geprüft wird, welcher eine Produktion von 313t/h entspricht, kann hier angenommen werden, dass diese Produktionsleistung durch diese Alternative erbracht werden kann.

3. Zerkleinerung

Das weiche Gestein wird vom Reißzahn durchdrungen und so zerkleinert, härteres Material wird entlang von Störungen, Klüfte, weichere Einschlüsse, etc. herausgelöst. Das Zerkleinerungsergebnis ist von natürlichen oder künstlichen Schwächezonen im Gebirge abhängig. Der Feinanteil kann beim Reißen gering gehalten werden, was eine positive Auswirkung auf die weiterführenden Prozesse hat. Sehr große Gesteinsbrocken oder Findlinge können gehandhabt und beiseite geschafft, aber nicht zerkleinert werden.

4. Emissionen

Die Staubbelastung beim Reißen wird als gering eingeordnet. Der auftretende Abbaulärm, welcher als reißend oder kratzend eingestuft werden kann, ist wesentlich geringer als z.B. bei Abbau mit Hydraulikhammer. Da dieses Verfahren in Kombination mit Auflockerungssprengungen eingesetzt wird, sind geringfügige Erschütterungs- und Schallemissionen zu erwarten. Diese wären jedoch wesentlich seltener und gegebenenfalls geringer.

Operative Umsetzung

Die weichen und sehr zerklüfteten Schichten können problemlos mit Rip&Load, also 50% Reißen und 50% Sortieren, Laden, Sohlenbearbeitung etc. gewonnen werden. Mit abnehmender Reißbarkeit erfolgt der Übergang auf eine reine Reißanwendung des Hydraulikbaggers, 100% des Einsatzes, und Laden durch ein separates Gerät. In Gebieten, in denen auch diese Anwendung zu nicht ausreichenden Reißleistungen führt, muss das Gebirge durch Auflockerungssprengungen vorgeschädigt werden. Der letzte Schritt in dieser Kette sind jene Schichten, die sich trotz Auflockerungssprengungen nicht in einem ordentlichen Maß Reißen lassen bzw. aus anderen Gründen keine Auflockerungssprengungen eingesetzt werden, hier müssen Gewinnungssprengungen angewandt werden. Bei einer Befahrung des Steinbruchs durch einen Spezialisten von Caterpillar wurde der Kalkstein der Birnenstorfer Schichten und eventuell auch des Hauptrogensteins als zu kompakt eingeschätzt, als dass ein Reißen ohne Auflockerungssprengung möglich wäre. Da das sichtbare Gebirge allerdings durch Sprengarbeit vorgeschädigt ist, sind alle optischen Bewertungen durch Untersuchungen des ungestörten Gebirges zu hinterlegen. Die Formationen Hauptrogenstein und Birnenstorfer Schichten betragen ca. 40% der kritischen Bereiche. Mehr zum Thema Auflockerungssprengungen in Kapitel 8.3.4.

Die kräfteoptimierte Konfiguration sieht ein Lösen, von etwa 6m hohen Etagen, vom Etagenkopf vor. Der Angriff von oben erlaubt den vollen Kräfteinsatz in Kombination mit einer optischen Identifizierung von Schwächezonen als

Ansatzpunkt des Reißzahnes. Die erreichbare Reißbarkeit und Produktionsleistung ist stark erfahrungs- und personenabhängig. Bei der Einschulung eines Maschinenführers sind laut Caterpillar durchschnittlich 3-4 Monate erforderlich, bevor die Maschine richtig ausgenutzt werden kann.

Bei einer Rip&Load Anwendung wird nach max. 50% der Einsatzzeit der Reißzahn durch eine Tieflöffelschaufel ersetzt, und der SLKW auf dem unteren Planum kann beladen werden. Der Hydraulikbagger kann mit Reißzahn und Schaufel Tätigkeiten zur Sohlenbearbeitung und Sortierung durchführen.

Bei einer reinen Reißapplikation kann sich der Hydraulikbagger mehr oder weniger abhängig des Lade- und Förderprozesses fortbewegen. Der Hydraulikbagger wäre 100% der Zeit im Reiß Einsatz, und das Material kann mit einem höheren Grad an Flexibilität und Selektivität mit einer Lademaschine vom unteren Planum geladen werden. Als Lademaschine können Hydraulikbagger oder Radlader eingesetzt werden.

Da sich der Abbauzuschnitt nicht wesentlich von der aktuellen Abbaugeometrie des Bohren und Sprengens im Jakobsberg unterscheidet, wäre hier kein großer Anpassungsbedarf gegeben. Die Kombinierbarkeit einer Reißanwendung zum Sprengbetrieb ist gegeben und wird in der Praxis schon länger erfolgreich angewendet.

Mit der Anschaffung eines Hydraulikbaggers würde sich der Fuhrpark des Steinbruches um eine neue Maschine erweitern, welche neue Anwendungsgebiete erschließt. Die Einsatzmöglichkeiten eines Hydraulikbaggers sind vielseitig, so könnten zum Beispiel Knäpper durch den Anbau eines Hydraulikhammers zerkleinert werden.

Die Bestimmung der tatsächlich erreichbaren Produktionsmenge und Abbaukosten sowie Durchführung der Abbauplanung sind erst nach einem realistischen Einsatztest vor Ort und dessen kritischen Bewertung möglich.

Abbaukosten

Die voraussichtlichen Vorhalte- und Betriebskosten wurden von Caterpillar berechnet und zur Verfügung gestellt. Diese umfassen eine Geräteanschaffung durch Leasing auf vier Jahre eines Hydraulikbaggers 390D inkl. Reißzahn und Tieflöffelschaufel, einen Reparatur- und Wartungsvertrag, Personalkosten des Maschinenführers und einen angenommenen Dieselbedarf von 62l/h. Die Anwendung für 100% Reißen hat einen ca. 10% höheren Dieserverbrauch als Rip&Load und den zusätzlichen Einsatz eines Ladegerätes. Abhängig von der Geologie sind unterschiedliche Produktionsleistungen möglich, was sich auch auf die Kosten auswirkt:

ERREICHBARE PRODUKTIONSLEISTUNG	VORHALTE- UND BETRIEBSKOSTEN	
	RIP&LOAD	100% REISSEN
200t/h	1,36CHF/t	1,42CHF/t
300t/h	0,91CHF/t	0,94CHF/t
400t/h	0,68CHF/t	0,71CHF/t
500t/h	0,54CHF/t	0,57CHF/t

Tabelle 25: Vorhalte- und Betriebskosten für Rip&Load und reines Reißen

Eine Abschätzung der Verteilung der erreichbaren Leistungen ist erst mit genaueren Materialinformationen bzw. nach einem Versuch möglich.

In der dritten Klasse des Verfahrens erhöhen Auflockerungssprengungen die Kosten. Die Kosten für Auflockerungssprengungen werden im Kapitel 8.3.4 ermittelt. Die Gebiete in denen Auflockerungssprengungen notwendig sind betragen rund 40% der kritischen Bereiche, weshalb 40% der Produktion angenommen werden.

LEISTUNG	AUFLOCKERUNGS- KOSTEN	ZEITAUFWAND	KOSTEN INKL. RIP&LOAD
200t/h	0,58CHF/t	8,6h/Woche	1,94CHF/t
300t/h	0,58CHF/t	8,6h/Woche	1,49CHF/t
400t/h	0,58CHF/t	8,6h/Woche	1,26CHF/t
500t/h	0,58CHF/t	8,6h/Woche	1,12CHF/t

Tabelle 26: Zeitaufwand für Auflockerungssprengung und Abbaukosten für Auflockerungssprengung und Rip&Load

Die aktuellen Abbaukosten für die Gewinnung mit Bohren und Sprengen liegt bei zirka 0,7CHF/t.

Vorteile und Nachteile

Vorteile:

- Mit den drei Anwendungsstufen ist jedes Material im Steinbruch mit ausreichender Leistung abbaubar
- Optimierte Auflockerungssprengungen erzeugen wesentlich geringere Sprengemissionen als Gewinnungssprengungen
- Weniger Feinanteil wirkt sich günstig auf die nachfolgenden Prozesse aus
- Abraumbeseitigung mit Hydraulikbagger möglich
- In Teilen des Jakobsberges wäre eine Anwendung ohne Änderungen der Abbaugeometrie möglich
- Hervorragend mit Sprengen kombinierbar
- Durch optische Beurteilung des Maschinenführers Schwachstellen ausnutzbar
- Rip&Load benötigt kein separates Ladegerät, was die Kosten minimiert

Nachteile:

- Wesentlich geringere Flexibilität gegenüber dem aktuellen Sprengbetrieb
- Knäpper können zwar zur Seite geschafft, aber nicht zerkleinert werden
- Reißerfolg und Reißleistung stark bedienerabhängig
- Beprobung des Bohrmehls nur in Kombination mit Auflockerungssprengungen
- Keine „Formel“ für Anwendung von Auflockerungssprengungen vorhanden, experimentelles Herantasten an Parameter könnte unter Umständen lange dauern

8.3.3 Xcentric Ripper

Der Xcentric Ripper ist ein Produkt der spanischen Firma Xcentric Ripper Interantional, das seit 2010 auf dem Markt ist, und als Anbaugerät eines Hydraulikbaggers unter anderem auch für den Gesteinsabbau eingesetzt wird. Ein hydraulisch betriebenes System treibt zwei exzentrische Wellen an und erzeugt so eine leichte Auf/Ab-Bewegung des Rippers. Diese exzentrische Bewegung ist der Unterschied zu einem herkömmlichen Reißzahn, und unterstützt die Eindringkraft des Rippers durch Vibration, welcher mit einem hochbeanspruchbaren Hardox Zahn ausgestattet ist.

Der Vertrieb der Xcentric Ripper erfolgt in der Schweiz durch die Firma Kuhn, welche dieses Produkt vorstellte, und eine Abschätzung der Einsatzfähigkeit und Kosten durchführte.

Grundsätzlich gilt für die Einsatzbedingungen des Xcentric Rippers das gleiche wie für Rip&Load. Das Gerät löst in optimaler Anwendung weiches, auch kompaktes oder hartes, zerklüftetes Gebirge. Die zusätzliche exzentrische Bewegung erhöht hier vermutlich die Produktion, jedoch nicht die Lösfähigkeit im Vergleich zu Rip&Load. Effektiv kann dies jedoch nur in einem Versuch festgestellt werden. Die theoretische Abschätzung des Einsatzes basiert laut Unterlagen von Xcentric Ripper International auf der Einaxialen Druckfestigkeit und dem RQD-Wert, oder auch der Mohs'schen Härte. Abbildung 33 zeigt, dass das Lösen in Gebirge mit Druckfestigkeiten bis zu 170MPa möglich ist, wenn dieses ausreichend geklüftet ist. Für die Bestimmung der Klüftigkeit und deren Auswirkung auf den Abbau kann hier der RQD-Wert verwendet werden. Der RQD-Wert beschreibt den Prozentsatz, der Kernbohrstücke mit einer Länge größer/gleich 10cm am gesamten Bohrkern (Vgl. Singh und Goel 2011, S.21)

$$RQD = \frac{\sum \geq 10cm}{L} * 100\% [\%]$$

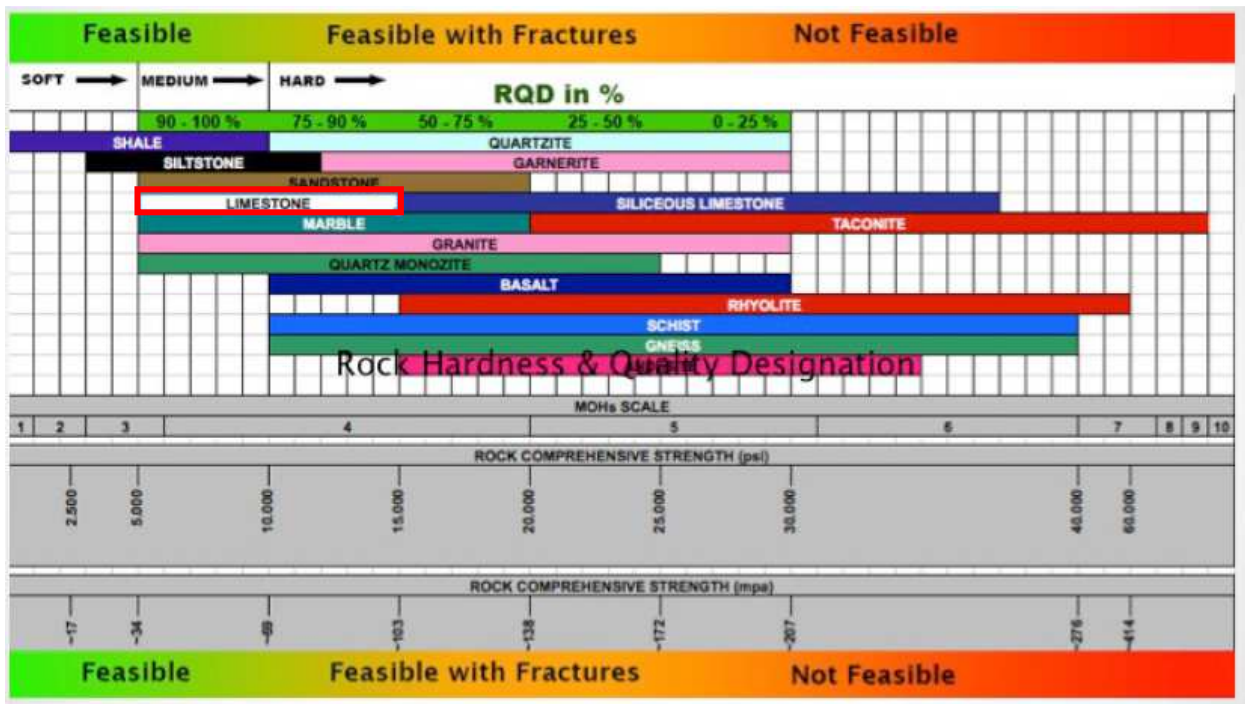


Abbildung 33: Einsatzbereich des Xcentric Rippers (Xcentric Ripper International)

Der Xcentric Ripper ist in neun unterschiedlichen Größen, von knapp einer Tonne bis 13t erhältlich. Mit steigender Größe nehmen auch die Größe des Trägergerätes, und die Produktionsleistung, auf bis zu 250m³/h, zu.

In Bereichen, die mit einem Xcentric Ripper nicht gelöst werden können, da sie zu hart und kompakt sind oder die Produktionsleistung aufgrund der schwierigen Reißbedingungen auf ein Minimum abfällt, ermöglichen Auflockerungssprengungen einen leistungsfähigen Einsatz des Xcentric Rippers.

Betriebliche Voraussetzungen

1. Flexibilität / Selektivität

Ähnlich wie Rip&Load ist der Abbau mit Xcentric Ripper kontinuierlich und schränkt die Flexibilität, im Vergleich zum Sprengbetrieb, erheblich ein. Der Abbau an mehreren Abbaustellen und die permanente Bereitstellung unterschiedlicher Qualitäten stellt eine Herausforderung dar. Hierfür wären mehrere Maschinen und eine detaillierte Abbauplanung notwendig. Es wäre hierfür möglich, das kontinuierlich gelöste Material nahe der Abbauwand als

Hauwerk zwischenzulagern und bei Bedarf zu Laden und Fördern. Der selektive Abbau ist durch gezieltes Laden leicht umsetzbar. Für die Probenahme der Qualitätssteuerung muss ein neues System eingeführt werden, da kein Bohrmehl produziert wird.

2. Leistung

Die erreichbare Leistung ist von der Maschinengröße, dem Gebirge und den Fähigkeiten des Maschinenführers abhängig. Für die Verhältnisse im Steinbruch der JCF wären die Modelle XR80 (70-100t Hydraulikbagger) oder XR120 (100-150t Hydraulikbagger) erforderlich. Die erreichbaren Leistungen in optimalen Gebirgsverhältnissen liegen bei etwa 200m³/h für das Modell XR80 und 250m³/h für das Größtmodell XR120. Für den Abbau der kritischen Bereiche mit Xcentric Ripper und Auflockerungssprengungen in den zu harten, kompakten Gebieten wäre das Modell XR80 ausreichend. Eine erste optische Beurteilung eines Spezialisten von Xcentric Ripper International hat ergeben, dass die Schichten des Hauptrogensteins und der Birmenstorfer Schichten vermutlich nicht in ausreichender Produktivität abbaubar sind und Auflockerungssprengungen erfordern. Die tatsächliche Einsatzfähigkeit des Xcentric Rippers, die Verteilung der Produktionsleistungen und die damit verbundenen Kosten in den unterschiedlichen Steinbruchbereichen sind nur durch Versuche auszumachen.

3. Zerkleinerung

Das Zerkleinerungsergebnis ist primär vom vorhandenen Kluftzustand des Gebirges abhängig. Der Xcentric Ripper löst Gestein entlang Störungen und Rissen aus dem Verband. Das Feinkorn kann dabei gering gehalten werden. Der Xcentric Ripper besitzt nicht die Schlagkraft einen harten, kompakten Knäpper zu zerkleinern.

4. Emissionen

Bei korrektem Einsatz des Rippers ist nur der Maschinenlärm des Hydraulikbaggers zu hören. Wenn der Ripper allerdings in schwer lösbarem Gebirge oder falsch eingesetzt wird, kann es zu hohen Schall- und Staubemissionen kommen. Je nach Übertragungseigenschaften des Gebirges, kann die Vibration des Xcentric Rippers einige Meter von der Abbaustelle spürbar sein. In Kombination mit Auflockerungssprengungen

sind Schall und Erschütterung als Sprengemissionen zu erwarten, welche bei optimiertem Einsatz jedoch geringer zu erwarten sind.

Operative Umsetzung

Für den erfolgreichen Abbau mit einem Xcentric Ripper sind Etagenwände von maximal 5-7m und nicht zu geringem Neigungswinkel erforderlich. Der Hydraulikbagger sollte etwa 4-5m von der Bruchwand entfernt stehen, und das Gebirge durch Einstechen von oben und Abziehen zu sich hin lösen, und so parallel zur Bruchwand arbeiten. Über ein Arbeiten mit oder gegen das Einfallen muss ein Versuch entscheiden.

Um das Herauslösen nicht zu behindern, muss sichergestellt sein, dass genügend Platz für gelöstes Material vorhanden ist. Deshalb sollte der Hydraulikbagger nicht auf dem Hauwerk sondern vor der Wand stehen. Zur Anwendung eines Xcentric Rippers ist der permanente Einsatz eines zusätzlichen Gerätes, meist Radladers erforderlich. Dieser sorgt andauernd für ein Wegladen des gelösten Gesteins. Praktisch wäre dies wie folgt realisierbar: Nachdem der Bagger den oberen Bereich der Bruchwand von seinem Standpunkt aus gelöst hat, wechselt dieser nach links oder rechts, um nebenan den oberen Bereich der Bruchwand zu lösen. Währenddessen lädt ein Radlader das erste Hauwerk. Danach wechselt der Bagger zurück auf seinen ersten Standpunkt und löst den unteren Teil der Wand während der Radlader das zweite Hauwerk löst. Als nächstes wechselt der Hydraulikbagger wieder zur zweiten Position und löst dort den unteren Teil damit der Radlader das zuvor gelöste laden kann usw. Diese Vorgehensweise erfordert ein hohes Maß an logistischer Planung, die unumgänglich für ein erfolgreiches Arbeiten ist.

Um die Flexibilität des Abbaugeschehens zu erhöhen und mehrere Materialien für das Mischen verfügbar zu haben, wäre es möglich, dass der Radlader das Gestein nicht direkt auf einen SLKW, sondern auf ein Zwischenhauwerk nahe der Bruchwand lädt. Durch den dauerhaften Einsatz des Xcentric Rippers an verschiedenen Stellen können so Hauwerke unterschiedlicher Qualitäten

geschaffen werden, welche je nach Bedarf auf SLKW geladen und gefördert werden können.

Für den Einsatz eines Xcentric Rippers ist der Hydraulikbagger nicht mit einer Schnellwechseleinrichtung ausgestattet, wodurch er als reines Abbaugerät vorgesehen ist. Der Verzicht einer Schnellwechseleinrichtung hat eine höhere Produktion, bessere Kraftübertragung und einen wirtschaftlichen Vorteil zur Folge.

Die große Eindringtiefe des Xcentric Rippers ermöglicht ein müheloses Aufspalten von Rissen und Klüften, wobei das richtige Handling von außerordentlicher Bedeutung ist. Es gilt den Ripper gezielt an Schwachstellen anzusetzen und mit der korrekten Technik, welche den Einsatz des Hebelarms vorsieht, vorzugehen. Sollte sich an einer Ansatzstelle nach 20 Sekunden nichts lösen muss der Ripper umgesetzt werden, da ansonsten die Gefahr von Überhitzung des Werkzeuges und übermäßigen Staub- und Lärmemissionen besteht. Der Lieferumfang des Xcentric Rippers von Kuhn beinhaltet auch eine Einschulung durch einen erfahrenen Maschinenführer.

Die hydraulisch bewegten Teile befinden sich in einem abgedichteten Gehäuse, sind so vor Staub und Wasser geschützt, was den Wartungsaufwand auf ein Minimum reduziert. Die Wartung des Xcentric Rippers beinhaltet regelmäßigen Ölwechsel des Hydrauliköls, Schmierung und Zähnetausch. Im Durchschnitt müssen diese alle zehn Tage gewechselt werden. Der tatsächliche Verschleiß des Zahnes hängt von den Materialgegebenheiten und der Arbeitsweise des Maschinenführers ab. Der Zahn ist durch eine einfache Vorrichtung an den Ripper befestigt, und so leicht zu wechseln. Ein Zahn des größten Models XR120 wiegt allerdings ca. 140kg. Zusätzlich sind Wartungstätigkeiten des Hydraulikbaggers durchzuführen.

Abbaukosten

Die Firma Kuhn hat die Kostenberechnung für einen Abbau mit Xcentric Ripper zur Verfügung gestellt. Als Trägergerät wird der 82t Hydraulikbagger, Komatsu PC800LC-8EO, mit einer Lebensdauer von 8 Jahren angegeben. Für die erforderliche Wartung sind pro Jahr 5,5% des Anschaffungspreises einberechnet.

Für den Xcentric Ripper XR80 mit 10,5t wird ebenfalls eine Lebensdauer von 8 Jahren angegeben. Die Lebensdauer der Zahnkappen wird mit 5 Tagen angenommen, und der Dieserverbrauch des Hydraulikbaggers mit 45l/h. Aus den Berechnungen der Firma Kuhn ergeben sich für die Anschaffung, Wartung und Betreibung von Hydraulikbagger und Xcentric Ripper, sowie Verschleißteile und Personal Gesamtkosten von 250,69CHF/h. Von der Firma Kuhn wird angegeben, in einer durchschnittlichen Gesteinsqualität eine Produktion von 220m³/h realisieren zu können, was in etwa 344t/h entspricht. Für Gesteinsschichten, welche eine Vorschädigung benötigen, wird die Auflockerungssprengung aus Kapitel Auflockerungssprengungen herangezogen.

ERREICHBARE PRODUKTIONSLEISTUNG	VORHALTE- UND BETRIEBSKOSTEN	
	OHNE AUFLOCKERUNG	MIT AUFLOCKERUNG
200t/h	1,96CHF/t	2,54CHF/t
300t/h	1,31CHF/t	1,89CHF/t
400t/h	0,98CHF/t	1,56CHF/t
500t/h	0,78CHF/t	1,36CHF/t

Tabelle 27: Vorhalte- und Betriebskosten für Xcentric Ripping ohne und mit Auflockerungssprengung

Die aktuellen Abbaukosten für die Gewinnung mit Bohren und Sprengen liegt bei zirka 0,7CHF/t.

Vorteile und Nachteile

Die Vor- und Nachteile des Xcentric Rippers im Vergleich zum Sprengen entsprechen im Großen und Ganzen jenen des Rip&Load, weshalb hier auf die Vor- und Nachteile im Vergleich zu Rip&Load eingegangen wird.

Vorteile:

- Zusätzliche Vibration unterstützt das Reißen und erhöht vermutlich die Lösleistung
- Einschulung für die Verwendung des Xcentric Rippers durch die Firma Kuhn

Nachteile:

- Separates Lademaschine immer notwendig
- Größerer Wartungsaufwand aufgrund hydraulischer Wirkungsweise
- Höhere Vorhalte- und Betriebskosten

8.3.4 Auflockerungssprengungen

Aktuell werden de facto keine Auflockerungssprengungen durchgeführt. Alle Sprengungen haben das vollkommene Lösen des Gebirges zum Ziel.

Für die Auslegung von Auflockerungssprengungen stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Vergrößerung des Bohrrasters bei gleichbleibender Sprengstoffmenge. (führt zu höheren Erschütterungsbelastungen und wird deshalb nicht angewandt)
- Gleichbleibender oder geringfügige Vergrößerung des Bohrrasters bei etwa 50% des Sprengstoffeinsatzes im Bohrlochtiefsten.

Es gibt keine Formeln in der Literatur, mit denen eine Auflockerungssprengung einfach auszulegen ist. Die Dimensionierung von Auflockerungssprengungen benötigt eine experimentelle Parameterbestimmung, in der die optimale Auslegung für den jeweiligen Anwendungsbereich ermittelt wird. Um das Optimum von Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Emissionen zu finden ist ein anspruchsvoller Findungsprozess notwendig. Die Werte in diesem Kapitel sind Ansatz- bzw. Ausgangswerte und müssen an die vorherrschenden Gegebenheiten im Steinbruch angepasst werden.

Die Einschätzung der aktuell verfügbaren Informationen lässt darauf schließen, dass die Schichten Hauptrogenstein und Birnenstorfer Schichten zu hart und kompakt für den Reißprozess sind. Diese finden sich in 100% des kritischen Bereiches Oberegg-West, 17,5% der Erweiterung West und zu 75% im kritischen

Bereich der Erweiterung Ost. Die Verteilung der kritischen Bereiche; 10% Oberegg-West, 65% West und 25% Ost führt zu einem Prozentsatz von 40% der kritischen Bereiche welcher eine Auflockerungssprengung fordert.

Nachstehend wird ein Beispiel einer Auflockerungssprengung gezeigt, um eine Abschätzung der Kosten vornehmen zu können. Für die Berechnungen werden folgende Daten verwendet.

Produktion der kritischen Bereiche	125fm ³ /h = 5000fm ³ /Woche
40% benötigen eine Auflockerung	50fm ³ /h = 2000fm ³ /Woche
Produktionszeit einer Woche	40h/Woche
Dichte	2,5t/m ³
Sprengstoffkosten Tovex A Ø90x800mm (2,5kg)	3,48CHF/kg
Sprengstoffkosten Tovex T Ø90x800mm (1,67kg)	3,02CHF/kg
Mittlere Zünderkosten	12CHF/Stk
Kosten Split für Besatz	100CHF/m ³
Zeit für 100 Löcher Beladen, Messen, Besatz einbringen	8h
Unterhaltskosten Titon 300 (Ø90)	25,55CHF/h
Unterhaltskosten Titon 200 (Ø90)	20,71CHF/h
Dieserverbrauch Titon 300 (Ø90)	32,5l/h
Dieserverbrauch Titon 200 (Ø90)	19,5l/h
Bohrgeschwindigkeit Ø90 Mergel	30m/h
Bohrgeschwindigkeit Ø90 Kalkstein	25m/h

Tabelle 28: Daten für Kostenberechnung Auflockerungssprengung

Die Werte in Tabelle 28 beziehen sich auf Annäherungen und Durchschnittswerten und stammen von Jura Cement.

Auflockerungskosten = Bohrgerät + Bohrrist + Sprengstoff + Zünder + Besatz + Mineur

Bohrgerät = Dieserverbrauch + Unterhalt

Mineur = Messen + Beladen + Besatz

Formel 10: Auflockerungskosten

Auflockerungssprengung in Anlehnung an die Sprengung vom 08.05.2014

„Mammut Fläche“

Die Sprengung vom 08.05.2014 „Mammut Fläche“ hat zu geringen Erschütterungen gezeigt und wurde nach dem Lösen durch Sprengen mit dem Dozer abgeschoben. Für dieses Anwendungsbeispiel werden dieselben Parameter, außer der Halbierung der spezifischen Sprengstoffmenge, eingesetzt.

Gebirge	Leicht verwitterter Kalkstein (Hauptrogenstein)
Bohrlochlänge	4,0m
Unterbohrung	0,5m
Bohrlochanzahl	100
Bohrlochdurchmesser	90mm (Titon 300)
Vorgabe	3,0m
Seitenabstand	3,5m
Neigung	78°
Kubatur	3900fm ³
Sprengstoff pro Bohrloch	2,5kg Tovex A und 6,45kg Tovex T
Spez. Sprengstoffverbrauch	229g/m ³

Tabelle 29: Bohr- und Sprengparameter vom 08.05.2014

Für eine Auflockerungssprengung könnte von diesem Bohrraster ausgegangen werden, um durch Versuche die optimalen Parameter zu finden. Der spezifische Sprengstoffverbrauch sollte bei etwa 115g/m³ angesetzt werden, was hier 0,5 Patronen Tovex A und etwa 1,5 Patronen Tovex T entspricht.

Nachstehend werden die Kosten einer Auflockerungssprengung für dieses Beispiel mit den Daten aus Tabelle 28 berechnet.

$$\text{Abschläge / Woche} = \frac{2000}{3900} = 0,51 \text{ Abschläge / Woche}$$

$$\text{Bohrlöcher / fm}^3 = \frac{100}{3900} = 0,03 \text{ Löcher / fm}^3$$

$$\text{Bohrmeter / Woche} = 4 * 100 * 0,51 = 204 \text{ m / Woche}$$

$$\text{Bohrstunden / Woche} = \frac{204}{25} = 8,16 \text{ h / Woche}$$

$$\text{Bohrkosten} = \frac{8,16 * (25,55 + 32,5 * 1,8)}{2000} = \underline{0,34 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Bohrrist} = \frac{8,16 * 75}{2000} = \underline{0,31 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Sprengstoff} = \frac{100 * (0,5 * 2,5 * 3,48 + 1,5 * 1,67 * 3,02)}{3900} = \underline{0,31 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Mineur} = \frac{8 * 75}{3900} = \underline{0,15 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Zünder} = \frac{100 * 12}{3900} = \underline{0,31 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Besatzlänge} = 4 - (0,5 * 0,8 + 1,5 * 0,8) = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Besatzkosten} = \frac{100 * \frac{0,09^2 * \pi}{4} * 2,4 * 100}{3900} = \underline{0,04 \text{ CHF / fm}^3}$$

$$\text{Kosten} = 0,34 + 0,31 + 0,31 + 0,15 + 0,31 + 0,04 = 1,46 \text{ CHF / fm}^3 = \underline{\underline{0,58 \text{ CHF / t}}}$$

$$\text{Zeitaufwand} = 8,16 + 8 * 0,51 = \underline{\underline{12,24 \text{ h / Woche}}}$$

$$\text{Gleichzeitigkeitsfaktor (Bohren, Laden)} = 70\%$$

$$\text{Zeitaufwand} = \underline{\underline{8,6 \text{ h / Woche}}}$$

Formel 11: Berechnung der Kosten für Auflockerungssprengungen des Beispiels 1

8.4 Einsatz der Alternativen für derzeitigen Abbau

In diesem abschließenden Kapitel soll der Einsatz von Rip&Load und Xcentric Ripper im aktuellen Steinbruch beurteilt werden. Für ihre Anwendung muss folgendes gegeben sein:

- Die gesamte Produktionsleistung von 5000t/Tag muss bewältigt werden
- Keine bis geringe Änderung der Abbaugeometrie
- Qualitätssteuerung durch verfügbare Materialien muss möglich sein

Da beide Abbaumethoden auf demselben Prinzip, nämlich das Reißen des Gebirges durch ein Anbaugerät eines Hydraulikbaggers basieren, kann einiges übergeordnet für beide behandelt werden.

Für beide gilt, dass es Schichtungen gibt, die schwer oder nicht lösbar sind, und deshalb eine Vorschädigung durch Auflockerungssprengungen benötigen. Da eine Auflockerungssprengung nur bei optimalen Parametern zum gewünschten Ergebnis und minimalen Emissionen führt, es hierfür allerdings keine einfachen Berechnungsmöglichkeiten gibt, müsste auf die Optimierung der Sprengparameter ein großes Augenmerk gelegt werden. Die Einschätzung beider Spezialisten von Caterpillar und Xcentric Ripper kamen nach einer Befahrung des Steinbruchs zum Entschluss, dass der Kalkstein des Hauptrogensteins und der Birmenstorfer Schichten vermutlich nicht zu reißen sei.

Das Kriterium der Qualitätssteuerung muss auf jeden Fall erfüllt sein. Hierfür wären mehrere Abbaumaschinen und eine exakte operative Planung notwendig, um unterschiedliche Qualitäten zur Verfügung stellen zu können.

Rip&Load

Bei der Befahrung des Steinbruchs am 26.August 2014 wurden von Caterpillar folgende Schlüsse gezogen:

Die abgegebene Einsatzbeurteilung basiert auf der optischen Bewertung der Geologie an den Bruchwänden, welche durch Sprengen bereits vorgeschädigt sind. Um eine wahre Aussage über die Einsatzfähigkeit treffen zu können, werden seismische Untersuchungen für intakte Gebirgssituationen empfohlen. Es ist hier wiederholt darauf hinzuweisen, dass nicht die Gesteinshärte, sondern der Schichtungszustand und die Störungen kritische Parameter sind. Harte und massige Zonen müssen durch Auflockerungssprengungen vorgeschädigt werden, um die erforderliche Produktion erreichen zu können.

Die Einschätzung von Caterpillar hat ergeben, dass vermutlich 70-80% durch Rip&Load bzw. 100% Ripping abgebaut werden können, um eine Produktion von 500-700t/h sicherzustellen. Für das Lösen der restlichen 20-30% muss das Gebirge durch Sprengen geschädigt werden. Der Umfang dieses Sprengaufwandes ist den vorherrschenden Bedingungen anzupassen und auf Basis von Erfahrungswerte zu steuern. Für diese Methode ist eine Etagenhöhe von etwa 6m erforderlich, an der 100t Hydraulikbagger eingesetzt werden. Laut Caterpillar wären zwei Hydraulikbagger und eine beträchtliche Änderung der Abbauführung, für Qualitätssteuerungszwecke, notwendig um diese Abbaumethode in aktuellen Abbau einsetzen zu können.

(Vgl. Caterpillar)

Xcentric Ripper

Die Befahrung des Steinbruchs von Kuhn und Xcentric Ripper am 3.September 2014 kam zu folgenden Ergebnissen:

Die optische Beurteilung des Gebirges lässt vermuten, dass 80% mit Xcentric Ripper abbaubar sind. Für genauere Werte bezüglich Abbauleistungen und Kosten wird die Durchführung eines Versuchs im Steinbruch empfohlen.

Die erforderliche Produktion könnte mit zwei Hydraulikbagger (82t) und Xcentric Ripper (XR80) an 5-7m hohen Bruchwänden bewältigt werden. Analog zum Einsatz von Rip&Load ist ein großes Augenmerk auf die Abbauplanung zulegen, um die Qualitätssteuerung gewährleisten zu können.

Fazit

Die Erstbeurteilungen von Caterpillar und Xcentric Ripper haben gezeigt, dass Rip&Load bzw. Xcentric Ripper nicht im gesamten Steinbruch eingesetzt werden kann. Ein Prozentsatz von etwa 20-30% kann durch beide Verfahren nicht gelöst werden und muss weiterhin durch, ein noch nicht bestimmtes Maß an Bohren und Sprengen abgebaut werden. Dieser Prozentsatz bezieht sich nicht auf den volumetrischen Anteil dieser Schichten, sondern nur auf die, zum Zeitpunkt der Befahrung freien Flächen der Bruchwände. Durch die zusätzliche Verwendung einer dieser Methoden lässt sich der Einsatz von Gewinnungssprengungen allerdings um ein Vielfaches verringern.

Am aktuellen Stand werden die vorkommenden Mergelschichten und zerklüfteten Kalksteinbereiche als reißbar angesehen. In diesen Gebieten werden derzeit Wandsprengungen mit geringer Wandhöhe bis 6m eingesetzt, was für den Einsatz beider Methoden keine Änderung der Abbaugeometrie bedeuten würde. Im kompakten Kalkstein wird der Einsatz von mechanischen Abbaumethoden als unwahrscheinlich eingestuft. Hier werden aktuell Gewinnungssprengungen mit Bruchwänden bis 30m durchgeführt. Eine Verkleinerung der Sprenganlage hält hier ein Potential für die Reduktion der Sprengemissionen bereit. Mit einer Kombination aus mechanischem Abbau, Auflockerungssprengungen und Gewinnungssprengungen können die Anforderungen der Qualitätssteuerung erfüllt, und die Sprengemissionen reduziert werden. Die Tatsache, dass die aktuelle Geometrie in einigen Bereichen den Ansprüchen der mechanischen Methode genügt, erzeugt eine Situation, welche für Versuch- und Übergangsphasen optimal ist.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Zu Beginn dieser Arbeit wurden umfangreiche Analysen der Sprengerschütterungen durchgeführt. Das Ziel dieser Analysen war es, die Zusammenhänge der Einflussparameter zu erkennen, um damit die Genauigkeit von Prognosen zu erhöhen. Da es eine Vielzahl an Einflüssen auf die Höhe der Erschütterungen gibt, wurde in einem ersten Schritt versucht, ähnliches Verhalten zu identifizieren. Es hat sich herausgestellt, dass es Messstellen gibt, die unabhängig von der Distanz zur Sprengstelle tendenziell höhere Erschütterungen messen als andere. Um die ausschlaggebenden Einflüsse festzustellen, wurde nach Unterschieden bzw. Gemeinsamkeiten dieser beiden Fraktionen gesucht. Obwohl eine Vielzahl an geologischen, geografischen und topografischen Eigenschaften untersucht wurde, konnte keine eindeutige Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der Messstellen gefunden werden. Zusätzlich wurden die Aufstellungen der Messgeräte beurteilt, welche dem Stand der Technik entspricht, aber durch aus zu geringen Unterschieden führen kann, da diese nicht ident sind. Als Fazit aus dieser Analyse ist zu sagen, dass Sprengerschütterungen westlich des Steinbruchs vermutlich besser gedämpft werden, was durch weitere Messgeräte zu bestätigen ist.

Alle Erschütterungswerte wurden in einem doppellogarithmischen Diagramm als Schwinggeschwindigkeit über die Distanz bzw. Skalierte Distanz (Distanz dividiert durch die Wurzel der maximalen Sprengstoffmenge pro Zündstufe) dargestellt. Die Darstellung aller Messwerte, 56 Sprengungen mit je sieben Messstellen, hat eine große Varianz und schlechte Korrelation gezeigt. Für eine bestimmte Distanz bzw. Skalierte Distanz existiert ein breites Spektrum an Erschütterungswerten. Untersuchungen haben gezeigt, dass nur in acht Fällen alle sieben Messwerte relativ gesehen gleiches Verhalten zeigten. Fünf Sprengungen, welche erschütterungsärmer ausfielen, fanden im nördlichen Bereich des Steinbruchs und auf höherer Seehöhe statt. Eine höhere Lage bedeutet hier weniger Überlagerung, was wiederum auf eine geringere Festigkeit und einen höheren Verwitterungsgrad schließen lässt.

Um den Einfluss der Bohr- und Sprengparameter untersuchen zu können, muss das unterschiedliche Ausbreitungsverhalten von Bodenwellen berücksichtigt werden. Hierfür werden Ausbreitungswege definiert, entlang derer Sprengungen verglichen werden können. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass kleinere Sprenganlagen (Kubatur, Vorgabe, Seitenabstand, Bohrlochzahl, Reihenanzahl) und genügend Sprengstoff zu erschütterungsärmeren Sprengungen führen. Wird zu wenig Sprengstoff eingesetzt, reicht die Energie nicht aus um das Gebirge aus dem Verband zu lösen, und wird stattdessen in Form von Bodenwellen abtransportiert.

Trotz der großen Anzahl verschiedener Betrachtungen und Analysen ist das Erschütterungsergebnis nicht zu 100% erklärbar, und deshalb nicht genau prognostizierbar. Die eruierten Unterschiede der Analyse sind zum Teil recht gering und könnten aus statistischen Schwankungen stammen. Der Einfluss nicht erfassbarer oder nicht aufgezeichneter Parameter könnte die beträchtliche Streuung der Erschütterungen erklären.

Im Zuge dieser Arbeit wurden sieben Schallmessungen von Sprengungen durchgeführt. Die Auswertung hat gezeigt, dass sich Schalldruck und Schalldruckpegel hervorragend prognostizieren lassen. Die dominante Frequenz aller Schallmessungen lag im Bereich kleiner 15Hz, welcher für das menschliche Gehör nicht wahrgenommen werden kann. Dieser sogenannte Air Blast wird oft für Bodenerschütterung gehalten.

Für die Prognose von Sprengerschütterungen in den potentiellen Erweiterungsgebieten werden von einem Worst Case bzw. Best Case Szenario ausgegangen. Dies bedeutet, dass ausgehend vom aktuellen Sprengbetrieb ein erschütterungsärmerer und ein erschütterungsreicherer Trend prognostiziert werden. Für die Einhaltung des Grenzwertes von 3mm/s sind 108m bzw. 200m Entfernung zum nächsten Gebäude notwendig. Dies würde für die Erweiterungsgebiete durch aus eine Beeinträchtigung der Abbaugelände bedeuten. Um den Abbau auch in diesen kritischen Bereichen gewährleisten zu können,

müssen Optimierungsmaßnahmen des aktuellen Sprengbetriebs vorgenommen, oder eine alternative Abbaumethode eingesetzt werden.

Für die Optimierung von Bohr- und Sprengparameter zur Reduktion von Sprengerschütterungen ist in der Literatur eine Vielzahl an Maßnahmen zu finden. Nicht alle diese Vorschläge bergen für den Steinbruch in Wildegg Potential zur Erschütterungsreduktion. Einiges wird bereits umgesetzt, anderes wäre zum Beispiel mit großem Aufwand oder neuen Problemstellungen verbunden. Das größte Optimierungspotential werden folgenden Maßnahmen zugeschrieben

- Vermeidung zu hoher Bruchwände
- Geteilte Ladesäule (2- bis 3-geteilt)
- Verzicht auf Unterbohrung oder Unterbohrung mit Air Deck im Bohrlochtiefsten
- Einhaltung von Verhältnissen Vorgabe/Bohrlochdurchmesser und Bruchwandhöhe/Vorgabe
- Verzögerungszeiten und Zündschema

Diese Maßnahmen machen eine detaillierte Bohr- und Sprengdokumentation mit begleitender Auswertung notwendig, um die tatsächliche Auswirkung jeder Veränderung erkennen zu können. Im Zuge dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass es im aktuellen Sprengbetrieb Optimierungspotential in Bezug auf Datenerfassung, Dokumentation und Auswertung gibt. Um sicherzustellen, dass Auswirkungen nicht nur durch statistische Schwankungen zustanden kommen, müssen Einzelversuchsreihen über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Für die Auswertung der Sprengungen wird ein ganzheitlicher Ansatz empfohlen, der eine Vielzahl an Parametern berücksichtigt. So sollte die gemessene Schwinggeschwindigkeit relativ zu den vorherrschenden Parametern und Umgebungsbedingungen, und nicht absolut betrachtet werden.

Als Alternativen zum Bohren und Sprengen in den kritischen Bereichen werden zwei reißende Abbauverfahren, Rip&Load und Xcentric Ripper, betrachtet. Rip&Load bezeichnet ein Verfahren, bei dem das Gebirge mittels eines Reißzahns an einem Hydraulikbagger gelöst, und danach direkt durch dasselbe Gerät

Verladen wird. Eine Schnellwechseleinrichtung erlaubt den Einsatz einer Tieflöffelschaufel in etwa 50% der Zeit. Mit abnehmender Reißbarkeit des Gebirges steigt die Einsatzzeit des Reißzahnes auf 100%. Sinkt die Reißbarkeit weiter, ist ein gewisser Grad an sprengtechnischer Zerkleinerung notwendig um das Gebirge zu lösen. Da zum Verfassungszeitpunkt dieser Arbeit nur wenig Information über die Reißbarkeit des Gebirges und deren räumlichen Verteilung vorliegen, können keine detaillierten Aussagen über tatsächliche Umsetzung, Abbaukosten, Abbauleistung und Emissionen getroffen werden. Im Gegensatz zum Bohren und Sprengen zählt Rip&Load zu den kontinuierlichen Abbaumethoden, was eine wesentliche Umstellung des betrieblichen Ablaufes und der operativen Planung bedeutet. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass der Verzicht auf Bohren eine Änderung des Probenahmeprozesses erfordert, da kein Bohrklein zur Verfügung steht. Zum jetzigen Zeitpunkt werden die kompakten Kalksteinschichten Hauptrogenstein und Birmenstorfer Schichten als nicht in ausreichendem Maß reißbar eingeschätzt. Diese Schichten nehmen rund 40vol% der kritischen Bereiche ein, und erfordern ein Lösen durch Bohren und Sprengen, was Sprengemissionen mit sich zieht. Auflockerungssprengungen minimieren Sprengemissionen wie Erschütterungen, gestalten sich durch ihre experimentelle Parameterfindung jedoch sehr anspruchsvoll. Die Abbaukosten für eine Tonne nehmen mit abnehmender Reißleistung und zunehmender Reißzeit zu. Ein Kostenvorteil gegenüber Bohren und Sprengen ist nur bei optimalen Gebirgsbedingungen, wie gut zerklüftetem Kalkstein, und 50% Rip und 50% Load gegeben. Obwohl der Reißerfolg stark bedienerabhängig ist, und für exaktere Daten bezüglich Kosten und Leistung weitere Untersuchungen empfohlen werden, wird der Abbau mit Rip&Load in den kritischen Bereichen als möglich erachtet.

Xcentric Ripper bezeichnet ein Anbaugerät für Hydraulikbagger, welches sich im Reißersatz durch zusätzliche exzentrische Bewegungen auszeichnet. Der Abbau mit Rip&Load und Xcentric Ripper und deren Voraussetzungen können im Großen und Ganzen als ähnlich angesehen werden, wobei die Notwendigkeit eines separaten Ladegerätes für Xcentric Ripping die Ausnahme ist. Auch hier ist die Verteilung der Abbaukosten und Abbauleistungen zum jetzigen Zeitpunkt nicht klar definiert, da diese von den geologischen Gegebenheiten bestimmt werden. Die

Abbaukosten liegen hier jedoch über jenes des Rip&Load. Es ist anzunehmen, dass der Einsatz eines Xcentric Rippers zu höhere Abbauleistung gegenüber Rip&Load führt, vorausgesetzt das Gebirge weist eine ausreichende Reißbarkeit auf.

Es gibt im Steinbruch Schichtungen, welche nicht durch reißende Verfahren, wie Rip&Load und Xcentric Ripper abgebaut werden können. Diese Bereiche werden auch in Zukunft durch Bohren und Sprengen gelöst werden müssen. Durch die Kombination von Bohren und Sprengen und mechanischem Abbau können Sprengerschütterungen und andere Abbauemissionen minimiert und gering gehalten werden, würden jedoch eine Abänderung von Probenahme und operativer Abbauplanung mit sich ziehen. Da in Bereichen des Jakobsbergs eine ausreichende Reißbarkeit des Gebirges vermutet wird, und die aktuelle Abbaugeometrie den Einsatz beider Alternativen erlauben würde, herrscht hier eine ideale Situation für Test- und Übergangsphasen.

10 Literaturverzeichnis

- Basarir, H. et al: Development of a direct rippability assessment method, in: Mine Planning and Equipment Selection, Hardygóra, M. et al (Hrsg.): Taylor and Francis Group, 2004, S.181-188
- Blair, D. P.: Limitation of electronic delay for the control of blast vibration and fragmentation, in: Rock Fragmentation by Blasting, Sanchidrian (ed.), Taylor & Francis Group, 2010, S. 171-184
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo, <http://www.swisstopo.admin.ch> (11.06.2014)
- Caterpillar: Rip and Load. A Real Alternative to Blasting., Broschüre, 2004, <http://china.cat.com/cda/files/1392972/7/CAT%20Rip&Load%20Brochure.pdf>, (18.08.2014)
- Dehghani, H. und Ataee-pour, M.: Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation, in: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 48 (2011), S. 51-58
- European Shotfirer Standard Education For Enhanced Mobility – ESSEEM: Work Package 6, Blasting Theory, (siehe Anhang 2)
- Fuchs, H.: Reduzierung von Sprengschallemissionen in den Festgesteinstagebauen der Steine- und Erdenindustrie, Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag, Aachen, 1. Auflage, 2003
- Huber, M. und Flükiger, L. und Matousek, F.: Geologischer Jahresbericht 2013, Jura-Cement-Fabriken-Wildegg AG, Abbau Werk Wildegg, Dr. Streiff AG Büro für Technische Geologie Geotechnik Hydrologie Umwelt, 2014
- Jordan, P. et al: Geologische Aufnahme, Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000, 1089 Aarau, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Schweizerische Eidgenossenschaft, 2011
- Jordan, P.: Arbeitsbericht NAB 13-70, Härterippen in den Effinger Schichten am Jura-Südfluss zwischen Olten und Auenstein, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, 2013
- Kuzu, C.: The importance of site-specific characters in prediction models for blast-induced ground vibrations, in: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28 (2008), S.405-414
- Lopez Jimeno, C. et al: Drilling and Blasting of Rocks, Geomining Technological Institute of Spain, 1987
- Lüscher, D.: Vertrauliches Factsheet Steinbruch der Jura-Cement-Fabriken AG, Wildegg, 2014
- o. A.: http://www.engineeringtoolbox.com/sound-pressure-d_711.html, (12.08.2014)
- o. A.: http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/MOD_37161/html/comp_37202.html, (01.09.2014)

- o. A.: Technisches Datenblatt Tovex Wassergel Sprengstoffe, SSE, <http://www.explosif.ch/sprengstoffe-sse/schweizermarkt/wassergelsprengstoffe/technischesdatenblatt.pdf>, (24.11.2014)
- o. A.: Dyno Nobel, NONEL User's Guide, http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf, (05.12.2014)
- Pfeifer, R.: Materialabbau Jakobsberg, Steinbitz, Unteregg, Überarbeitung Abbaubewilligung 3, Etappe 3, Geotest AG, 17. Mai 2013
- Rydzynski, K. et al.: Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), European Commission, 2008, http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_010.pdf (12.08.2014)
- Schilling, J. und Schuler, P.: Untersuchungskonzept für die Abbauerweiterungen Ost und West sowie Absenkung der Abbausohle, Auftrag: 1312084.7 JCF Rohstoffsicherung Jakobsberg-Egg, Geotest AG, 05. Februar 2014
- Schillinger, R.: Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis, Carl Hanser Verlag München Wien, 2009
- Schwarz, J. (Hrsg.): Einfache lineare Regression, <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/ereg.html>, (01.09.2014)
- Singh, B. und Goel, R.K.: Engineering Rock Mass Classification, Elsevier Inc., 2011
- Societe Suisse des Explosifs: Tovex Wassergel Sprengstoffe, Technisches Datenblatt, <http://explosif.ch/societesuissedesexplosifs/schweizermarkt/wassergelsprengwasser.php>, (02.06.2014)
- Staatskanzlei Aargau, Kommunikationsdienst des Regierungsrats, Geoportal, https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/online_karten_agis/online_karten.jsp, (28.05.2014)
- Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS): Schweizer Norm SN 640 312a, Erschütterungen, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, 1992
- Wild, H.: Sprengtechnik in Bergbau, Tunnel- und Stollenbau sowie in Tagebauen und Steinbrüchen, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1984

<http://map.geo.admin.ch/>

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Steinbrüche der Jura Cement Fabriken in Wildegg	2
Abbildung 2: Geologisches Profil (Pfeifer 2013, S.3).....	5
Abbildung 3: aktuelle Geologie im Steinbruch – August 2014 360-420m ü. M. (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang1-3 und Jordan 2013, S.34).....	7
Abbildung 4: Geologie auf 320m ü. M. (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang1-3)	8
Abbildung 5: Standorte der Schallmessungen	17
Abbildung 6: Lage der Messstellen bis Oktober 2013	23
Abbildung 7: Aufstellung für Vergleichstest	25
Abbildung 8: Standorte der erschütterungsarmen, erschütterungsreichen und wechselhaften Messstellen.....	50
Abbildung 9: Geologische Aufnahme (Vgl. Jordan 2011).....	54
Abbildung 10: Ausbreitungswege der erschütterungsreichen und erschütterungsarmen Sprengungen.....	55
Abbildung 11: Einteilung der Sprengungen in Bereiche	57
Abbildung 12: Ausbreitungswege 2.1 und 2.2 der MST2	58
Abbildung 13: Erweiterungsgebiete Stand August 2014 (Vgl. Jura Cement 2014)	72
Abbildung 14: Best Case- und Worst Case-Radien für die Einhaltung der 3mm/s-Marke	77
Abbildung 15: Best Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s	77
Abbildung 16: Worst Case - kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s	78
Abbildung 17: Best Case- und Worst Case-Radien für die Einhaltung der 2mm/s-Marke	79
Abbildung 18: Best Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 2mm/s	80
Abbildung 19: Worst Case – kritische Bereiche für die Einhaltung von 2mm/s	80
Abbildung 20: Extremfall-Radien für die Einhaltung von 3mm/s.....	83
Abbildung 21: Extremfall-schlecht - kritische Bereiche für die Einhaltung von 3mm/s	84

Abbildung 22: Ausbreitungswege der Ausreißer aus der Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz.....	85
Abbildung 23: Extremfälle in geologischer Karte.....	86
Abbildung 24: Einfluss der spezifischen Sprengstoffmenge auf die Schwinggeschwindigkeit (Lopez Jimeno 1987, S.335).....	92
Abbildung 25: Einfluss der Vorgabe auf die Höhe der Sprengerschütterungen (Lopez Jimeno 1987, S.337)	94
Abbildung 26: Einfluss der Bohrlochneigung auf die Ausbreitung von Bodenwellen (Wild 1984, S.250).....	95
Abbildung 27: Zündschema 1 für zwei-geteilte Ladesäule (http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf).....	101
Abbildung 28: Zündschema 2 für zwei-geteilte Ladesäule (http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf).....	102
Abbildung 29: Zündschema 3 für drei-geteilte Ladesäule (http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf).....	102
Abbildung 30: Gesamtes Erweiterungsgebiet	105
Abbildung 31: Geologisches Profil durch die Erweiterung West (Vgl. Schilling und Schuler 2014, S.Anhang3)	106
Abbildung 32: Geologisches Profil durch die Erweiterung Ost (Schilling und Schuler 2014, S.Anhang2)	107
Abbildung 33: Einsatzbereich des Xcentric Rippers (Xcentric Ripper International)	121

12 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Doppellogarithmische Darstellung des Schalldrucks und des Schalldruckpegels über die Distanz	20
Diagramm 2: Schalldruck und Schallpegel der Sprengungen mit und ohne Sprengschnur.....	20
Diagramm 3: Balkendarstellung der Häufigkeitsanalyse	28
Diagramm 4: Prozentuelle Balkendarstellung der Häufigkeitsanalyse	28
Diagramm 5: Schwinggeschwindigkeit über die Distanz (Messwerte aus 2013 und 2014)	29
Diagramm 6: Schwinggeschwindigkeit über die Distanz mit Darstellung der einzelnen Messstellen	30
Diagramm 7: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-Distanz	35
Diagramm 8: Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz (Messwerte aus 2013 und 2014)	36
Diagramm 9: Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz mit Darstellung der einzelnen Messstellen	37
Diagramm 10: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD	40
Diagramm 11: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; Walesch-Geräte	41
Diagramm 12: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; GeoSIG-Geräte	41
Diagramm 13: Darstellung der Grenzen zur Gruppenbildung im Diagramm v-SD; GeoSIG-Geräte, Stand 27.06.2014	46
Diagramm 14: Charakteristika der erschütterungsarmen Sprengungen.....	66
Diagramm 15: Distanz-Lademenge-Beziehung.....	71
Diagramm 16: Darstellung der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz, Stand 27.06.2014	74
Diagramm 17: Trendlinien Gruppe 1 und Gruppe 3	75
Diagramm 18: Darstellung Schwinggeschwindigkeit über Distanz – Extremfälle .	81
Diagramm 19: Trendlinien Extremfälle	81

13 Formelverzeichnis

Formel 1: Sprengstoffstärke relativ zu LFB-Dynamite (ESSEEM S.46)	11
Formel 2: Berechnete Sprengstoffstärke	12
Formel 3: Definition der Abweichung des Vergleichstests	25
Formel 4: Skalierte Distanz (Vgl. Kuzu 2008, S.405)	36
Formel 5: Best Case und Worst Case Szenario für 3mm/s	76
Formel 6: Best Case und Worst Case Szenario für 2mm/s	79
Formel 7: Formeln für Extremfälle	82
Formel 8: Formeln für Schalldruck und Schallpegel ohne den Einsatz von Sprengschnur	87
Formel 9: Formeln für Schalldruck und Schallpegel mit dem Einsatz von Sprengschnur	87
Formel 10: Auflockerungskosten	127
Formel 11: Berechnung der Kosten für Auflockerungssprengungen des Beispiels 1	129

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übliche Parameter der Sprenganlage.....	10
Tabelle 2: Technische Daten der Sprengstoffe Tovex A und Tovex T (www.explosif.ch 2014)	11
Tabelle 3: Ergebnisse der Schalldruckmessungen.....	19
Tabelle 4: Ergebnisse des Vergleichstest eines Walesch und eines GeoSIG Gerätes	25
Tabelle 5: Häufigkeitsanalyse der Erschütterungswerte von 04.01.2013 bis 06.06.2014	27
Tabelle 6: Einzeldiagramme der Schwinggeschwindigkeit über die Distanz für die Messstellen	32
Tabelle 7: Vergleich der Messwerte beider Geräte für jede Messstelle in v-D-Darstellung	33
Tabelle 8: Einzeldiagramme der Schwinggeschwindigkeit über die Skalierte Distanz für die Messstellen.....	39
Tabelle 9: Gruppenvergleich Teil 1.....	42
Tabelle 10: Gruppenvergleich Teil2.....	43
Tabelle 11: Vergleich von Formel und Determinationskoeffizient verschiedener Trendlinien.....	47
Tabelle 12: Gruppeneinteilung Stand 27.06.2014	48
Tabelle 13: Seehöhe der Messstellen	52
Tabelle 14: Distanz der Messstellen vom Sprengort	53
Tabelle 15: Gruppenzugehörigkeit von Abbaubereichen und Ausbreitungswegen	60
Tabelle 16: Sprengparameter der in Bereiche eingeteilten Abbaustellen.....	61
Tabelle 17: Detailanalyse der Abbaustellen	65
Tabelle 18: Distanz-Lademenge-Beziehung aus ÖNORM S9020 (Vgl. ÖNORM S9020).....	70
Tabelle 19: Maximale Schwinggeschwindigkeit nach SN 640 312a (SN 640 312a, S. 6).....	75
Tabelle 20: Schallbelastung in 50m und 100m.....	87

Tabelle 21: Schallpegeltabelle (Rydzynski 2008, S.17 und http://www.engineeringtoolbox.com/sound-pressure-d_711.html).....	88
Tabelle 22: Maßnahmen zur Reduzierung von Sprengschallemissionen (Fuchs 2003, S.122f).....	90
Tabelle 23: Empfohlene Reihenfolge der Maßnahmen zu Optimierung	103
Tabelle 24: Reißbarkeitsbeurteilung nach seismischer Ausbreitungsgeschwindigkeit (Caterpillar)	114
Tabelle 25: Vorhalte- und Betriebskosten für Rip&Load und reines Reißen	118
Tabelle 26: Zeitaufwand für Auflockerungssprengung und Abbaukosten für Auflockerungssprengung und Rip&Load	118
Tabelle 27: Vorhalte- und Betriebskosten für Xcentric Ripping ohne und mit Auflockerungssprengung.....	125
Tabelle 28: Daten für Kostenberechnung Auflockerungssprengung	127
Tabelle 29: Bohr- und Sprengparameter vom 08.05.2014	128
Tabelle 30: Messstellenbesichtigung MST1	III
Tabelle 31: Messstellenbesichtigung MST2	IV
Tabelle 32: Messstellenbesichtigung MST3	V
Tabelle 33: Messstellenbesichtigung MST4	VI
Tabelle 34: Messstellenbesichtigung MST5	VII
Tabelle 35: Messstellenbesichtigung MST6	VIII
Tabelle 36: Messstellenbesichtigung MST7	IX
Tabelle 37: Messstellenbesichtigung MSTtemporär	X

15 Abkürzungsverzeichnis

d	Bohrlochdurchmesser [mm]
D	Distanz [m]
H	Bruchwandhöhe [m]
JCF	Jura Cement Fabrik
L	Lademenge je Zündzeitstufe [kg]
MST	Messstelle
SD	Skalierte Distanz [$m/kg^{0,5}$]
UCS	Uniaxial Compressive Strength [MPa]
v	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
V	Vorgabe [m]

Anhang Inhaltsverzeichnis

Anhang 1: Messstellenbesichtigung	II
Anhang 2: Nicht veröffentlichte Literatur.....	XI

Anhang 1: Messstellenbesichtigung

MST 1: FAMILIE FREI	
KOORDINATEN	652933 / 252400
STANDORT	Im Keller ist ein Loch im Boden welches mit einem Holzdeckel zugedeckt wird. Gerät wurde bei Besichtigung am 03.07.2014 gedreht.
SEIT WANN?	21.02.2014
UNTERGRUND	Aussparung im Fundament erlaubt Aufstellung direkt auf dem Fels.
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht. Bis zum 3.7.2014 war das Gerät nicht im Lot (zu kurze Schraube).
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Konstante Witterungsverhältnisse, keine Beeinträchtigung durch Menschen oder Maschinen ersichtlich. Wenig belebter Standort.
FOTOS	

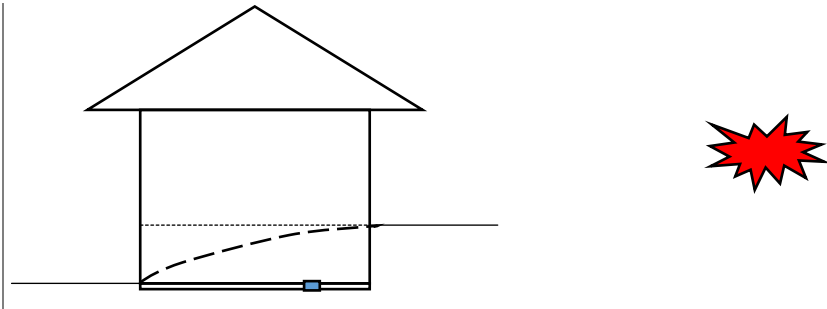
STANDORTSKIZZE

Tabelle 30: Messstellenbesichtigung MST1

MST 2: FAMILIE AELLIG	
KOORDINATEN	654242 / 252287
STANDORT	Vor dem außenliegenden Kellereingang steht das Gerät vor dem Eingang eines Vogelgeheges (derzeit nicht belegt). Gerät wurde bei der Besichtigung verdreht vorgefunden.
SEIT WANN?	28.01.2014
UNTERGRUND	Betonboden
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Gerät steht draußen, jedoch überdacht. Vor dem Eingang zum Keller und Vogelgehege Beeinträchtigung durch Menschen oder Tiere nicht auszuschließen.
FOTOS	

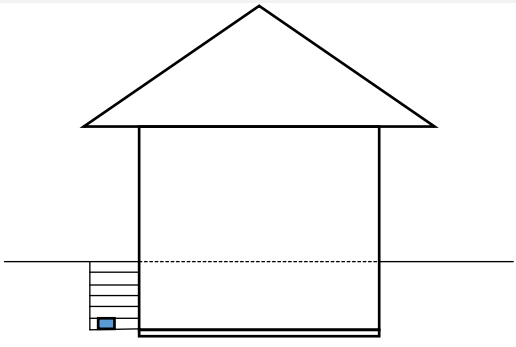
		
STANDORTSKIZZE		
		

Tabelle 31: Messstellenbesichtigung MST2

MST 3: FIRMA BLUMEN WEBER	
KOORDINATEN	654206 / 252517
STANDORT	Das Gerät steht unter einem Tisch des Büros im 1.OG nahe der Wand.
SEIT WANN?	26.02.2014
UNTERGRUND	Betonboden
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Platz neben dem Gerät diente als Abstellfläche. Der Betrieb ist seit Juni 2014 geschlossen.

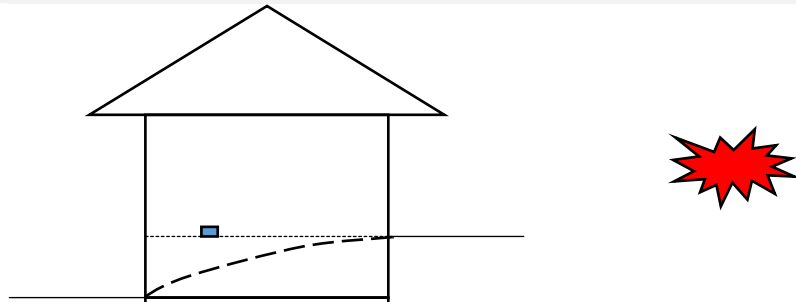
FOTOS**STANDORTSKIZZE**

Tabelle 32: Messstellenbesichtigung MST3

MST 4: FIRMA AAREBLUME	
KOORDINATEN	654400 / 252763
STANDORT	Im Eck eines Gewächshauses.
SEIT WANN?	26.02.2014
UNTERGRUND	Betonboden
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Umgebungsverhältnisse sind feucht und warm. Beeinträchtigung durch einen Rollwagen, der daneben geparkt wird, jedoch häufig in Verwendung ist. Eine Beeinträchtigung durch diesen Rollwagen ist nicht

auszuschließen.

FOTOS



STANDORTSKIZZE

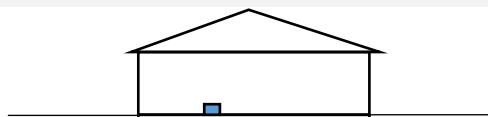


Tabelle 33: Messstellenbesichtigung MST4

MST 5: FAMILIE UNGRICHT	
KOORDINATEN	654228 / 252646
STANDORT	Im 1.OG des in den Hang gebauten Wohnhauses, im Eck der Terrasse.
SEIT WANN?	28.01.2014
UNTERGRUND	Fliesenboden der Terrasse
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Vor Witterung durch Überdachung geschützt. Sitzgruppe 1m entfernt, Beeinträchtigung durch Menschen und Tiere (Hunde) nicht auszuschließen.

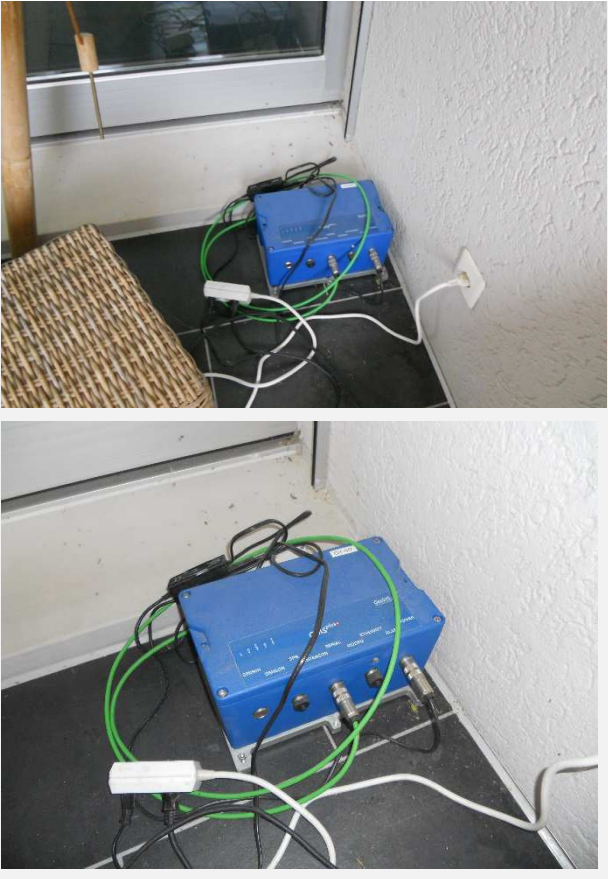
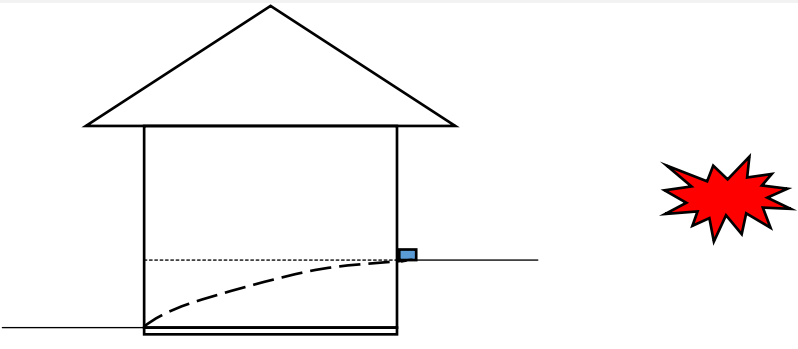
<p>FOTOS</p>	
<p>STANDORTSKIZZE</p>	

Tabelle 34: Messstellenbesichtigung MST5

MST 6: FAMILIE BRUGGER	
KOORDINATEN	654147 / 252507
STANDORT	Im Eingangsbereich der Garage, an der Wand.
SEIT WANN?	18.02.2014
UNTERGRUND	Betonboden
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Vor Witterung geschützt, da drinnen. Gerät sehr nah an parkendem PKW. Beeinträchtigung durch Menschen und PKW nicht auszuschließen.

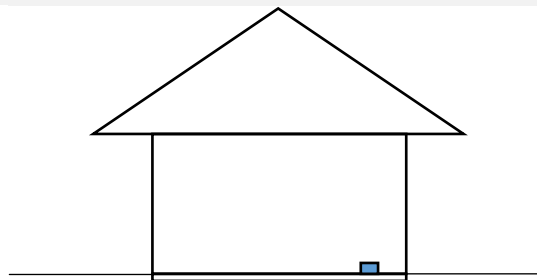
FOTOS**STANDORTSKIZZE**

Tabelle 35: Messstellenbesichtigung MST6

MST 7: FAMILIE SCHÄRER	
KOORDINATEN	653551 / 251999
STANDORT	Im Keller, Lagerraum für Lebensmittel unter einem Fenster an der Wand.
SEIT WANN?	21.02.2014

UNTERGRUND	Betonboden
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Keine Beeinträchtigung durch Menschen oder Maschinen ersichtlich.
FOTOS	
STANDORTSKIZZE	

Tabelle 36: Messstellenbesichtigung MST7

MST TEMPORÄR: FAMILIE FLACH	
KOORDINATEN	
STANDORT	Neben dem Fundament auf Fels
SEIT WANN?	04.07.2014
UNTERGRUND	Fels



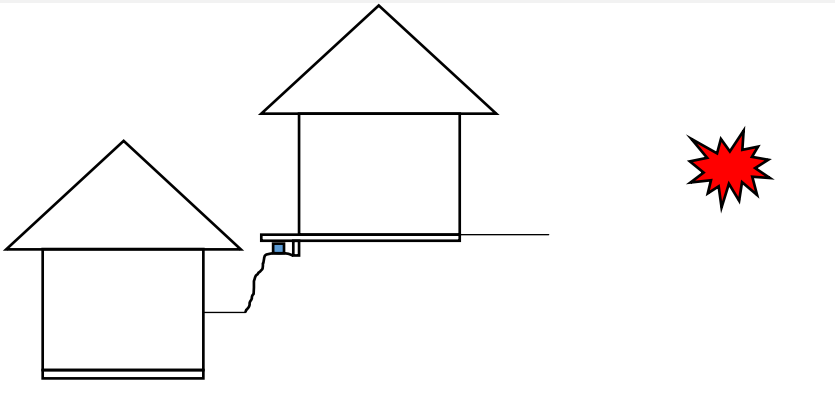
BEFESTIGUNG	Das Gerät ist auf einer Grundplatte befestigt (4 Schrauben), welche auf 3 Nivellierschrauben steht.	
BE-EINTRÄCHTIGUNG	Vor Witterung durch Überdachung geschützt, keine Beeinträchtigung ersichtlich.	
FOTOS		
		
STANDORTSKIZZE		

Tabelle 37: Messstellenbesichtigung MSTtemporär

Anhang 2: Nicht veröffentlichte Literatur

European Shotfirer Standard Education For Enhanced Mobility – ESSEEM –



2.6 Explosives performance

- The Langefors-Kihlstrom weight strength concept is extensively used for the correlation of blastability of the rock mass with explosive strength. It is based on the fact that the expansion work performed by an explosive depends
 - primarily on the heat of explosion
 - secondarily on the volume of the released gas products.
- The relation is written as

$$s = \frac{5}{6} \cdot \frac{Q_v}{Q_{v0}} + \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{V_0} \quad (4.21)$$

where

- s = weight strength relative to a reference explosive (LFB-dynamite)
 Q_v = explosion energy for 1 kg of the explosive
 V = released gas volume for 1 kg of the explosive
 Q_{v0} = 5 MJ
 V_0 = 850 liter.



Slide 46

European Shotfirer Standard Education For Enhanced Mobility – ESSEEM –



6.1 Blast vibrations

In blasting operations, propagation of waves in the ground is normally spoken of as ground vibrations. Normally the vibration intensity is most interesting.

- **Ground vibration intensity**
 - The explosive user needs to know the maximum charge weight per delay and the distance to the location of interest.
 - If the charge per delay is relatively small compared to the distance involved, it is indeed true that vibration will not be potentially damaging.
 - However, there are other variables, which have an effect on either the intensity or the character of the vibrations.
- Variables of interest include:
- maximum charge weight detonating simultaneously
 - true distance (waves travel distance)
 - geological conditions
 - confinement
 - rock properties
 - coupling
 - spatial distribution
 - detonator timing scatter
 - time of energy release
 - type of explosive

Slide 125